



Sähköratamaadoituksien perusteet – suoja-aidat, rakennukset ja laiturirakenteet



Anttila Tomi

Ratahallintokeskuksen
julkaisu A 1/2005

Sähköratamaadoitusten perusteet – suoja-aidat, rakennukset ja laiturirakenteet

Tomi Anttila

Helsinki 2005

Ratahallintokeskus

Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 1/2005

ISBN 952-445-117-4

ISSN 1455-2604

Julkaisu pdf-muodossa: www.rhk.fi

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä
Kansikuva: Tomi Anttila

Helsinki 2005

Anttila, Tomi: Sähköratamaadoitusten perusteet – suoja-aidat, rakennukset ja laituri-rakenteet. Ratahallintokeskus, Turvallisuusyksikkö. Helsinki 2005. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A1/2005. 55 sivua ja 4 liitettä. ISBN 952-445-117-4, ISSN1455-2604.

Avainsanat: Sähköratamaadoitukset, rautateiden sähköturvallisuus, laituri- maadoitus, rakennusten maadoitus, aitojen maadoitus, maadoitustarpeiden arviointi

TIIVISTELMÄ

Insinööriyössä on tarkasteltu Ratahallintokeskuksen (RHK) hallinnoiman rataverkon sähköistettyjen rataosuuksien maadoitusten perusteita pääosin rautateiden laituri-rakenteiden ja suoja-aitojen sekä rautateiden läheisyyteen sijoitettujen rakennusten näkökulmasta.

Työssä on kartoitettu, minkälaisia ohjeita ja määräyksiä mainittujen kohteiden maadoittamisesta on annettu ja etenkin, miten annettujen ohjeiden ja määräyksiä mukainen maadoitus käytännössä voitaisiin toteuttaa. Pohdittiin myös erilaisia ohjeiden ja määräysten mukaisia sovellettuja maadoitusten toteuttamistapoja käytännön tasolla.

Työn aluksi on tutustuttu sähköratamaadoituksiin liittyviin ohjeisiin ja määräyksiin. Tämän jälkeen on kerätty tietoa maadoitusten käytännön toteuttamisesta sekä pohdittu, millä tavoin ohjeiden ja määräysten mukaiset maadoitusratkaisut on mahdollista toteuttaa käytännössä.

Seuraavaksi on tutustuttu maadoitustarpeen perimmäisiin syihin ja niihin liittyviin riskitekijöihin. Laadittiin paikalliseksi riskianalyysiksi nimetty arviointimenetelmä, jolla voidaan arvioida maadoitusten toteuttamisen tarvetta käytännössä erilaisissa olosuhteissa. Tämän jälkeen tarkasteltiin ratamaadoitusten ja pienjännitemaadoitusten keskinäistä vaikutusta ja edettiin laituri-rakenteiden, aitojen ja rakennusten maadoituksen yksityiskohtiin.

Todettiin, että etenkin laituri-, aitarakenteiden sekä rakennuksien osalta maadoituksiin liittyvät ohjeet olivat yleisellä tasolla jokseenkin selkeitä, mutta käytännössä niiden soveltaminen lukuisiin erilaisiin olosuhteisiin on ollut hankalaa.

Laadittiin erilaisia maadoitusmalleja, ohjeita ja määräyksiä vapaasti soveltaen, kohteisiin, joissa maadoitusten toteuttaminen on usein ollut ongelmallista.

Anttila, Tomi: Earth systems of the electrified tracks – fences, buildings and platform constructions Finnish Rail Administration, Safety Department. Helsinki 2005. Publications of the Finnish Rail Administration A1/2005. 55 pages and 4 appendices. ISBN 952-445-117-4, ISSN1455-2604.

Keywords: Earthing in electric railways, electric safety in railway areas, earthing methods of platforms in railway area, earthing methods of fences in railway area, earthing methods of buildings in railway area, earth systems in electrified tracks.

ABSTRACT

The Finnish Rail Administration is in charge of maintaining and developing the rail network. Safety is a basic principle in all activity and electric safety is an important part of it.

The purpose of this final project was to analyse regulations and instructions regarding earthing methods of fences, buildings and platform constructions in electrified railway areas. The investigation aimed particularly at analysing how regulations and instructions work in practice and how extensive an earth system is required in different conditions. Some applied methods of analysing the scope of earthing have also been defined.

The results of this final project indicate that orders and instructions are not accurate enough concerning all earth systems. The measurement of earth systems requires more knowledge about local special conditions and risks.

This means that the slowly increasing impedance of connections should be observed. Low-impedance fault current lines and equipotential bondings are an important factor of earth systems. Otherwise transferred potentials and touch voltages can cause problems.

Based on these results, example wiring of earth systems is shown for platform constructions, fences and buildings. Fences are divided into two different categories depending on their placing beside the track. Platform constructions require an effective and ensured earth system as a large number of people stay close to its exposed conductive parts. Buildings beside the track should be equipped with an earth system in some cases. However, the first priority is to protect buildings against the hurling overhead contact lines.

Anttila, Tomi: Grunderna för jordningen av elektrifierade banor – skyddsstängsel, byggnader och perrongkonstruktioner. Banförvaltningscentralen, säkerhetsenheten. Helsingfors 2005. Banförvaltningscentralens publikationer A1/2005. 55 sidor och 4 bilagor. ISBN 952-445-117-4, ISSN1455-2604.

Sökord: Jordning av elektrifierade banor, järnvägars eltrygghet, jordning av perronger, jordning av byggnader, jordning av stängsel, bedömning av jordningsbehoven

RESUMÉ

I detta ingenjörsarbete granskas grunderna för jordningen av de elektrifierade banavsnitten på det bannät som sköts av Banförvaltningscentralen, i första hand med utgångspunkt i järnvägarnas perrongkonstruktioner och skyddsstängsel samt byggnader i järnvägens närhet.

I arbetet kartläggs vilka anvisningar och föreskrifter som utfärdats beträffande jordningen av de nämnda objekten och särskilt hur jordningen i enlighet med dessa anvisningar och föreskrifter i praktiken kan företas. Det diskuteras också hur olika tillämpningar av jordningen enligt föreskrifterna kunnat ske på det praktiska planet.

I början studeras de anvisningar och föreskrifter som givits om jordning av elektrifierade järnvägsbanor. Därefter följer information om olika sätt som använts för tillämpandet av jordningsbestämmelserna i praktiken, och det dryftas hur det är möjligt att i praktiken realisera jordningslösningar som uppfyller föreskrifterna.

Därefter går arbetet in på de fundamentala skälen till att jordning behövs, med de riskfaktorer som hör ihop därmed. Författaren sammanställer ett bedömningssystem som kallas lokal riskanalys, som används för bedömning av det verkliga behovet av jordning i olika förhållanden. Därefter granskas interaktionen mellan banjordningen och jordningarna av lågspänningsinstallationer, varefter diskussionen går vidare till detaljer inom jordningen av perrongkonstruktioner, stängsel och byggnader.

Det konstateras att föreskrifterna om jordning, särskilt beträffande perronger, stängsel och byggnader allmänt taget är någorlunda klara, men att tillämpningen av dem i de många variabla förhållandena i praktiken varit besvärlig.

Det görs upp olika fritt anpassade jordningsmodeller, anvisningar och bestämmelser för objekt vilkas jordning ofta visat sig vara problematisk.

ESIPUHE

Tämän sähköratamaadoitusten perusteita käsittelevän insinöörityön teki Tomi Anttila Helsingin ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan koulutusohjelmassa. Työn ohjaajana oppilaitoksessa toimi dipl.ins. Sampsa Kupari. Työn tilaajana toimi Ratahallintokeskuksen kunnossapitoyksikkö yhdessä turvallisuusyksikön kanssa. Työn valvojana toimi ylitarkastaja Juha Sjöblom turvallisuusyksiköstä.

Helsingissä, maaliskuussa 2005

Ratahallintokeskus

Turvallisuusyksikkö

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
RESUMÉ.....	5
ESIPUHE.....	6
1 JOHDANTO.....	9
2 SÄHKÖRATAJÄRJESTELMÄN KUVAUS.....	10
2.1 Sähköratajärjestelmän kehitys	10
2.2 Järjestelmä 1 x 25 kV	10
2.3 Järjestelmä 2 x 25 kV	10
2.4 Ajojohtimen rakenne ja sijainti.....	11
2.5 Sähköradan ohjaus.....	12
2.6 Erotusjakso	13
2.7 Syöttöasemien kytkentä.....	14
2.8 Imumuuntaja ja paluu-, M-, K- sekä R-johtimet	14
2.9 Jännitekytkennät	15
3 RISKIANALYYSI	16
3.1 Maadoitustarpeen arviointi.....	16
3.2 Paikallinen riskianalyysi.....	16
4 SÄHKÖRATAMAADOITUSTEN TARKOITUS	19
4.1 Sähköradan maadoitustarpeen perusteet.....	19
4.2 Maavuototilanne	19
4.3 Potentiaalintasaus	20
4.4 Kiskopotentiaali.....	21
4.5 Kiskopotentiaalista aiheutuvat kosketusjännitteet.....	22
4.5.1 Kosketusjännitteiden kestoajat	22
4.5.2 Pitkäaikaiset kosketusjännitteet.....	22
4.5.3 Väliaikainen kosketusjännite.....	22
4.5.4 Lyhytaikainen kosketusjännite	23
4.6 Sähkörtavauriot.....	23
5 ULKOISEN SÄHKÖVERKON VAIKUTUS MAADOITUKSIIN	24
5.1 Yleisen sähköverkon käyttö	24
5.2 Yleisen sähköverkon ja rautatiemaadoitusten yhdistäminen.....	24
5.3 Suur- ja pienjänniteverkon maadoitusten yhdistäminen.....	25
5.4 Suur- ja pienjännitemaadoitusten yhdistämisen riskit.....	25
5.5 Erillään olevat suur- ja pienjännitemaadoitukset.....	26
6 LAITURIKATOSTEN MAADOITUS	27
6.1 Laiturikatoksen maadoittaminen	27
6.2 Sinkoutuva ajolangan aiheuttama vaara	27
6.3 Katoksen rakenteellinen näkökulma.....	28
6.4 Katoksen johtavien reuna-alueiden vahvennus	28

6.5 Maadoituskytkennät laiturikatoksille	29
6.6 Rakenteita yhdistävät liitokset vikavirtareitillä	31
7 SUOJA-AITOJEN MAADOITUS	32
7.1 Aitarakenteiden maadoitusten perustelut.....	32
7.2 Nykyiset määräykset aitojen maadoittamisesta.....	32
7.3 Aidan sähköinen yhtenäisyys	33
7.4 Samanaikaisesti kosketeltavat aidan osat	33
7.5 Pidemmät epäjatkuvuuskohdat	35
7.6 Aidan sähköisen yhtenäisyyden turvaaminen.....	35
7.7 Eristävä materiaali aidan päällä.....	36
7.8 Rata-alueen ulkopuolelle menevä aita.....	37
7.9 Aidan maadoitustarve ja etäisyys radasta.....	39
7.9.1 Nykyisen käytännön turvallisuus	39
7.9.2 Muiden ulkoisten jännitteiden vaikutus.....	39
7.10 Lyhyiden ja heikkojen aitojen maadoittaminen.....	40
7.11 Pitkän aidan maadoitusvälit.....	40
7.12 Ensimmäiseen prioriteettiin kuuluva aita	41
7.12.1 Aidan maadoitusväli	41
7.12.2 Välimaadoituksen vaikutus henkilöturvallisuuteen.....	41
7.13 Toiseen prioriteettiin kuuluva aita	42
7.14 Limittäin sijoitetut aitaelementit.....	43
7.15 Aidan etäisyyden vaihtelu rataa nähden	44
8 RAUTATIEALUEEN RAKENNUKSIEN MAADOITTAMINEN	45
8.1 Nykyiset ohjeet rakennusten maadoittamiselle	45
8.2 Rakennuksen maadoituksen tarkoitus	45
8.3 Radan läheisyyden vaikutus rakennuksen maadoitustarpeeseen.....	46
8.4 Kaartuvan radan aiheuttama riski	47
8.5 Vastajohtimen aiheuttama riski 2 x 25 kV -järjestelmässä	48
8.6 Maadoitushilan käyttö 2 x 25 kV -järjestelmässä.....	49
8.7 Rakennuksen maadoituksen toteutus.....	50
8.8 Pitkän rakennuksen seinän välimaadoitukset	50
8.9 Sähköä johtamattoman katon maadoitus	51
8.10 Sähköä johtava kattopinta.....	52
8.11 Liittimen kiinnittäminen laajaan johtavaan pintaan	52
9 YHTEENVETO	54
LÄHDELUETTELO	55
LIITTEET	
Liite 1	Ratojen sähköistys (karttakuva)
Liite 2	Valokuvia muuntoasemarakenteista
Liite 3	Virran kulku 1 x 25 kV -järjestelmässä
Liite 4	Virran kulku 2 x 25 kV -järjestelmässä

1 JOHDANTO

Ratahallintokeskuksen (RHK) tehtävänä on vastata Suomen rataverkon ylläpitämisestä, kehittämisestä sekä rautatieliikenteen turvallisuudesta. RHK:n tarkoituksena on tarjota kilpailukykyinen liikenneväylä rautatieyritysten käyttöön.

Tässä insinööritoiminnassa käydään läpi RHK:n antamia ohjeita ja määräyksiä laiturirakenteiden, aitojen ja rakennusten maadoittamisesta sähkörata-alueella sekä tarkastellaan ohjeiden soveltumista käytännön asennuksiin sekä esitetään erilaisia menetelmiä kohteiden maadoittamiselle ohjeita ja määräyksiä soveltaen.

Maadoitusratkaisut korostuvat sähköistetyillä rataosuuksilla. Laiturikatoksissa voi oleskella toistuvasti merkittäviä määriä ihmisiä. Sähköradan jännitevuototapaukset saattavat aiheuttaa suurta vahinkoa, mikäli maadoitusratkaisuja ei ole riittävästi pohdittu myös paikalliset olosuhteet huomioon ottaen. Suoja-aidat voivat kuljettaa vuotojännitteitä pitkiäkin matkoja ja joissain tapauksissa siirtää sähköradan potentiaaleja kauaksi rata-alueelta. Omaisuusvahinkoja silmälläpitäen rakennuksissakin on hyvä ottaa huomioon jännitteisten johtimien vaikutukset vika- ja onnettomuustapauksissa.

Maadoituksien riittämättömyyden lisäksi suurimmat sähköturvallisuusriskit aiheutuvatkin usein pohdinnan ja paikallisten olosuhteiden tuntemisen puutteesta. Siksi on tärkeää osata myös soveltaa ohjeita ja määräyksiä käytännössä.

2 SÄHKÖRATAJÄRJESTELMÄN KUVAUS

2.1 Sähköratajärjestelmän kehitys

Rautateiden sähköistämisen taloudellisia ja teknisiä edellytyksiä alettiin tutkia 1950-luvun jälkipuoliskolla. Tutkimukset osoittivat, että taloudellisin ratkaisu rautateiden vetovoimakysymyksessä saavutettaisiin sähköistämällä vilkkaasti liikennöidyt rataosat.

Ratkaisu sähköistyskysymykseen saatiin 17.6.1965, jolloin valtioneuvosto hyväksyi rautateiden sähköistyksen aloitettavaksi ensimmäisen sähköistysvaiheen toteuttamisella. Ensimmäiseksi toteutettavaan sähköistystyöhön kuuluivat rataosat Helsinki–Kirkkonummi, Helsinki–Tampere ja Riihimäki–Kouvola. Suomen ensimmäinen sähköistetty rataosa, Helsinki–Kirkkonummi, avattiin sähköjunaliikenteelle 24.1.1969.

Sähköistyksen jännitejärjestelmäksi valittiin imumuuntajilla ja erillisellä paluujohtimella varustettu 25 kV, 50 Hz yksivaihejärjestelmä, joka sai käyttövoimansa vahvasta ja sopivasti pääratioja sivuavasta 110 kV kantaverkosta. Suomessa käytetään nykyisin kahta toisistaan eroavaa ratasähköjärjestelmää 1 x 25 kV ja 2 x 25 kV järjestelmää. /1./

Valtaosa Suomen rataverkosta on rakennettu 1 x 25 kV -periaatteen mukaisesti, mutta uusille rataosille, esimerkiksi Kerava–Lahti-oikoradalle, otetaan suoraan käyttöön 2 x 25 kV -järjestelmä. Lisäksi sähköistämättömät rataosat Oulu–Rovaniemi, Oulu–Kontiomäki ja Iisalmi–Vartius sähköistetään 2 x 25 kV -järjestelmän mukaisesti. Rataosalla Tuomioja–Hirvineva oli käytössä vanhempi 1 x 25 kV -järjestelmä, mutta rataosuus muutettiin 2 x 25 kV -järjestelmän mukaiseksi. /2; 3, s. 13./

RHK julkaisee vuosittain Rautatietilaston, joka sisältää sekä rataverkkoa että rautatieliikennettä koskevia tilastotietoja. Julkaisusta on luettavissa viimeisimmät ratioihin ja liikenteeseen liittyvät tiedot.

2.2 Järjestelmä 1 x 25 kV

Ensimmäinen ja yleisesti käytetyin järjestelmä on 1 x 25 kV:n -järjestelmä, jota kutsutaan myös imumuuntajajärjestelmäksi, uudempaa järjestelmää kutsutaan säästömuuntajajärjestelmäksi tai 2 x 25 kV -järjestelmäksi. Joissain tapauksissa 1 x 25 kV -järjestelmässä ei tarvita ollenkaan imumuuntajia kiskopotentialin ja häiriöiden rajoittamiseen. Tällöin kyseessä on reduktiojohtimella toteutettu 1 x 25 kV -järjestelmä, jossa paluuvirtatietä on vahvistettu erillisellä reduktiojohtimella. Pohjoismaisen huonosti johtavan maaperän vuoksi paluuvirran aiheuttamat häiriöt kuitenkin usein estävät reduktiojohdinjärjestelmän käytön.

2.3 Järjestelmä 2 x 25 kV

Sähköratajärjestelmä 2 x 25 kV perustuu siihen, että tehoa siirretään kaksinkertaisella jännitteellä nykyiseen järjestelmään verrattuna. Tällöin virta puolittuu ja johdossa tapahtuva jännitteen alenema on pienempi verrattuna 1 x 25 kV:n -järjestelmään. Tämän ansiosta syöttöasemaväliä voidaan pidentää yli kaksinkertaiseksi 1 x 25 kV:n -järjestelmän 30–45 km:n syöttöasemaväliin verrattuna. On huomattava, että veturiin

menevä jännite on kuitenkin edelleen 25 kV, joten järjestelmän käyttö ei edellytä muutoksia vetokalustossa.

Järjestelmän 2 x 25 kV ratajohtopylväissä kulkee tavanomaisten johtimien lisäksi vastajohdin, joka on eristimillä eristetty samalla tavoin kuin ajojohdin. Järjestelmässä ei ole imumuuntajia, vaan ne on korvattu säästömuuntajilla, jotka on sijoitettu n. 7 000 metrin päähän toisistaan. Järjestelmässä 1 x 25 kV imumuuntajia sijoitetaan yleensä hieman alle 3 000 m:n välein.

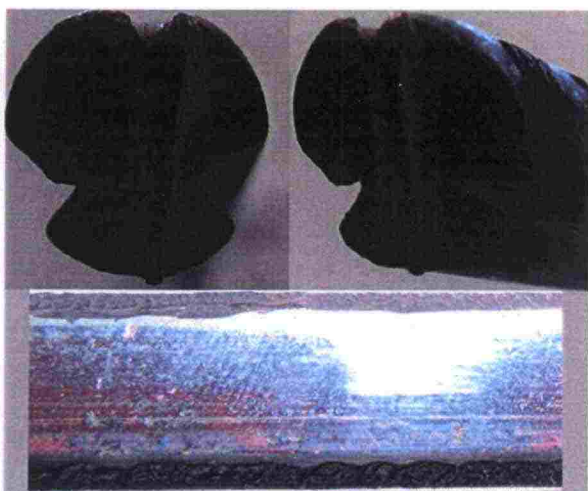
Syöttöasemalla oleva muuntajajännite on 110/50 kV ja se on kytketty siten, että toisipuolen käämin toinen pää on kytketty ajojohtimeen ja toinen pää vastajohtimeen. Paluujohdin ja edelleen paluuvirtakisko kytketään muuntajan keskipisteeseen. Kiskoissa ei kulje vaarallista jännitettä, mutta kiskopotentiaali kasvaa jonkin verran 1 x 25 kV:n järjestelmään verrattuna. Kiskopotentiaalista aiheutuvat kosketusjännitteet pystytään kuitenkin rajoittamaan vaarattomiin arvoihin mm. sähköratapylvään ympärille sijoitettavien potentiaalintaselektrodien avulla.

Joissain tapauksissa 1 x 25 kV -järjestelmä voidaan muuttaa 2 x 25 kV -järjestelmäksi. Jos syöttöasemaväli säilytetään 1 x 25 kV -järjestelmään sopivana, se mahdollistaa muutetun järjestelmän radalla normaalia suuremman kuormituksen. Normaalisti suuremman kuormituksen mahdollisuus käytetään kuitenkin 2 x 25 kV -järjestelmässä mieluummin syöttöasemavälien pidentämiseen, koska uusien syöttöasemien ja niiden vaatiman 110 kV verkon rakentaminen on huomattavan kallista. /3, s. 14; 5, s. 2./

2.4 Ajojohtimen rakenne ja sijainti

Ajojohtimeksi sanotaan ratajohtoon kuuluvaa johdinta, jota sähkökaluston virroitin koskettaa. Rakenteeltaan ajolanka ei ole täysin pyöreä, koska tällöin sen ripustaminen olisi hankalaa. Pääraiteilla ajolangan poikkipinta on 100 mm², muilla raiteilla 80 mm². Virroitimen hankauksen vuoksi langan kulutus pinta on yleensä kirkas ja sileä. Ajolankaa tukee erillinen kannatinköysi, joka kulkee varsinaisen ajolangan yläpuolella. Johdinta kannattaa kääntöorsi, joka on myös jännitteellinen eristimien johtimien puoleiselta osaltaan.

Ajolanka ei kulje ratalinjaan nähden täysin suorassa, koska tällöin virroitimen hiilet kuluisivat vain yhdestä paikasta. Ajojohdin on asennettu siten, että se tekee koko ajan siksakkia keskilinjaansa nähden. Näin virroitimen hiilet kuluvat tasaisesti koko leveydeltään. /3, s. 18, 26./



Kuva 1. Ajojohtimen muoto ja kirkas kulutuspinna

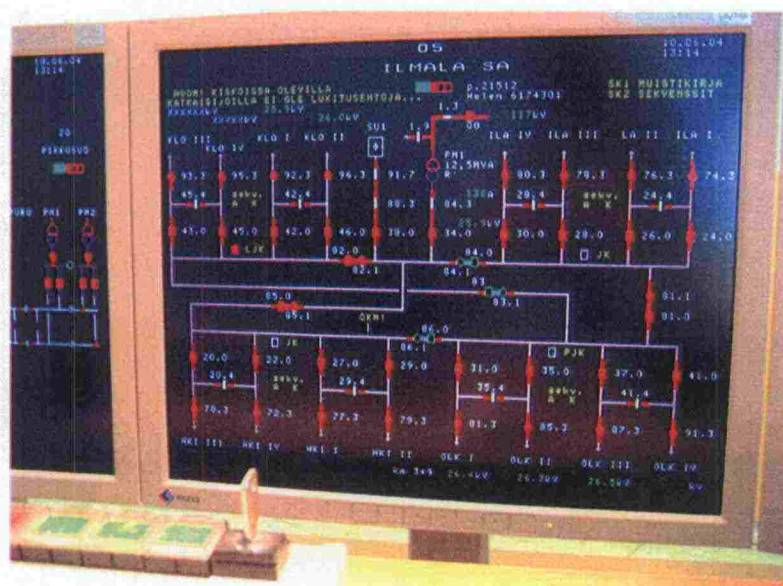
2.5 Sähköradan ohjaus

Sähköratasuunnittelun peruseriaate on ollut alusta asti se, että yhteen syöttöasemaan tullut vika voidaan tilapäisesti hoitaa viereisten syöttöasemien avulla. Näin ollen liikennekeskeytykset sähköratavikojen vuoksi saadaan mahdollisimman vähäisiksi.

Sähköradan käyttökeskuksesta voidaan keskitetysti ohjata sähköradan muuntajia sekä kytkinlaitteita. Kaksi- ja useampiraiteisilla rataosilla sähköratajärjestelmät on rakennettu siten, että eri raiteiden ajojohtimet voidaan pitää sähköisesti erillään toisistaan. Näin on mahdollista kytkeä tietty raide tai raideryhmä jännitteettömäksi, ja silti pitää muita raiteita sähkönsyötön puolesta liikennöitävänä. Käyttökeskuksista toimeenpannaan huoltotilanteiden jännitekatkot, valvotaan jännitteiden ja asetettujen arvojen tilaa, tarkkaillaan syöttöasemien muuntajien ja muiden oheislaitteiden tilaa sekä vastaanotetaan vikailmoituksia. Esimerkiksi sähköradan maavuototilanteesta aiheutunut suoja-laitteiden toimiminen ja siitä syntynyt jännitekatkoalue voidaan havaita valvonta-monitoreista reaaliaikaisesti. /2./



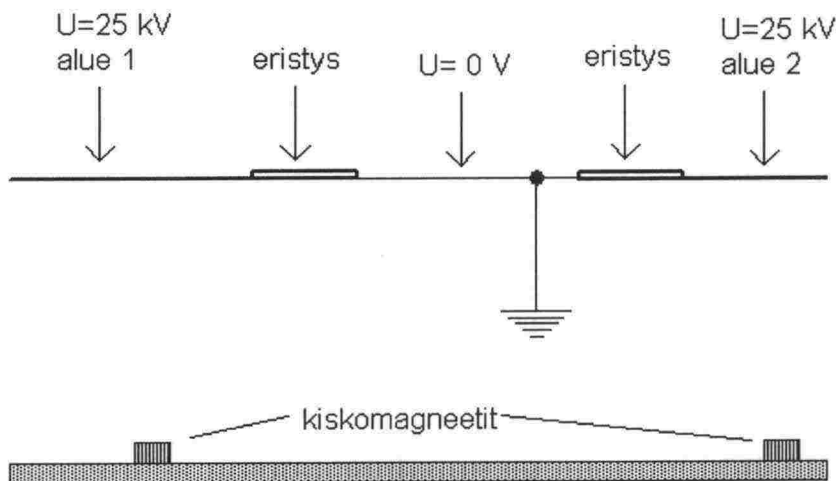
Kuva 2. Näkymä Helsingin käyttökeskuksesta



Kuva 3. Käyttökeskuksen monitorin valvontanäkymä

2.6 Erotusjaksso

Erotusjakso on kohta, jossa ajolankaan on rakennettu lyhyt maadoitettu eristyskohta, joka pitää kaksi eri jännitealuetta toisistaan erillään. Sähköjunan pääkytkin on avattava erotusjakson yli ajettaessa. Käytännössä toiminto hoituu automaattisesti erotusjakson molemmille puolille radan keskelle sijoitettujen ratamagneettien avulla. Sähköjunan pohjaan on asennettu tunnistin, joka avaa tai sulkee junan pääkytkimen, kun se havaitsee erotusjakson ratamagneetin. /3, s. 24/



Kuva 4. Erotusjakson toimintaperiaate

Erotusjakson jännitteetön keskikohta on maadoitettu, jolloin jännitealueet eivät pääse yhdistymään keskenään. Eristimen läpilyönnissä tapahtuu maasulku, jolloin sähköradan suojalaitteet katkaisevat syötön nopeasti.



Kuva 5. Ajolankaan kiinnitettävä eristyskappale erotusjaksoa varten

2.7 Syöttöasemien kytkentä

Syöttöasema ottaa energiansa kolmivaiheisesta 110 kV kantaverkosta kahden vaiheen väliltä. Tämän jälkeen jännite muutetaan 25 kV:n yksivaiheiseksi jännitteeksi ja sähköenergia syötetään kytkinasemalta ajolankaan. Yksivaiheisesta kuormituksesta johtuen syöttöasemille aiheutuu paikallista virtaepäsymmetriaa, mutta ongelma on ratkaistu kytkemällä muuntajia eri vaiheiden väliin. /4, liite 8/1./

2.8 Imumuuntaja ja paluu-, M-, K- sekä R-johtimet

Jos maaperän johtokyky on hyvä, kuten esimerkiksi Keski-Euroopassa, voidaan virran antaa palata syöttöasemalle kiskoja ja maata pitkin. Suomen maaperän johtokyky on usein huono, joten tällainen järjestely aiheuttaisi paljon häiriöitä telelaitteissa sekä korkeita kiskopotentiaaleja. Tästä johtuen paluuvirralle on tehty oma paluuvirtajohdin, joka on asennettu sähköratapylvääseen.

Maadoitusjohdinta eli M-johdinta käytetään yhdistämään useita sähköratapylväitä sekä muita maadoitettavia kohteita yhteen. M-johtimella yhdistetyt kohteet maadoitetaan lopulta yhdestä pisteestä paluukiskoon.

Paluujohto yhdistetään n. 2–3 km:n välein ratakiskoon. Mikäli paluukiskona toimii vain toinen kisko, esimerkiksi turvalaitteen raidevirtapiirin vuoksi, korvataan puuttuva kisko-

paluuvirtatie lisäämällä johdin, jota kutsutaan kiskonvarmistusjohtimeksi (K-johdin). Jos paikalla kulkee M-johdin, K-johdinta ei tarvita.

Jotta mahdollisimman suuri osa virrasta siirtyisi paluujohtimeen, on ajojohtimen ja paluujohtimen väliin kytkettävä imumuuntaja, jonka avulla paluujohtimeen synnytetään sen omalle jännitehäviölle vastakkaissuuntainen jännite. Näin paluujohtimen reaktanssi saadaan kumottua. Paluujohtimen reaktanssi vaikuttaa paluuvirran siirtymiseen paluujohtimeen. Kun paluujohtimen reaktanssi saadaan pienennettyä, siirtyy suurin osa paluuvirrasta paluuvirtajohtoon.

Imumuuntaja on kytkennältään virtamuuntaja, jonka muuntosuhde on 1:1 ja se asennetaan kahden erillisen paluujohtimen paluukiskokiinnityksen puoliväliin. Imumuuntajia käytetään vain 1 x 25 kV -järjestelmässä.

Imumuuntajattomassa ja säästömuuntajattomassa järjestelmässä paluukiskojen rinnalle kytketään reduktiojohdin (R-johdin), jonka tarkoituksena on pienentää maan kautta palaavaa virtaa. Reduktiojohdin yhdistetään 300–500 m:n välein paluukiskoon. Reduktiojärjestelmän käyttö on Suomessa vähäistä.

Paluu-, M-, R- ja K-johtimet sijoitetaan yleensä olosuhteiden salliessa kulkemaan sähköratapylvään takareunassa noin kuuden metrin korkeudella pylväsperustuksesta. /3, s. 23, 28./

2.9 Jännitekytkennät

Syöttöasemien välillä jännitettä voidaan ohjata erilaisilla kytkimillä ja katkaisijoilla, joilla mahdollistetaan esimerkiksi kaksiraiteisella rataosuudella vain toisen raiteen tekeminen jännitteettömäksi. Näin mahdollistetaan huoltotilanteessa jännitteettömän alueen rajaaminen lyhyemmäksi, mikäli ei ole tarpeen kytkeä jännitteettömäksi koko syöttöasemien välistä osuutta.

Syöttöasemilta tulevien jännitteiden erottamiseen käytetään myös välikytkintä, joka voidaan sijoittaa kahden syöttöaseman puoliväliin. Sen tehtävänä on mahdollistaa poikkeustilanteissa sähkönsyöttö viereiseltä syöttöasemalta, mikäli normaalisti käytettävällä syöttöasemalla ilmenee vikaa tai tehdään huoltotöitä. /2./

3 RISKIANALYYSI

3.1 Maadoitustarpeen arviointi

Sähkörataympäristön kohteiden maadoitustarpeen arviointi on useista muuttujista johtuen toisinaan mutkikasta. Erityisesti toisarvoisimpien kohteiden, kuten lyhyehköjen suoja-aitojen ja pienten laiturikohteiden maadoitustarpeen arvioinnin lopputulos voi vaihdella huomattavastikin riippuen suunnittelijan kokemuksista ja näkemyksistä. Tällaisten kohteiden maadoitus tulee perustua riskianalyysiin, jos määräykset eivät selkeästi määrittele tarvittavan maadoituksen laajuutta. Riskianalyysin pohjalta arvioidaan ensisijaisesti, parantaako maadoitus juuri tässä kohdassa turvallisuutta, ja missä laajuudessa maadoitus olisi mielekästä toteuttaa.

Yleistäen voidaan todeta, että minkä tahansa kohteen maadoitus parantaa aina turvallisuutta, koska tällöin edesautetaan suojalaitteiden toimintaa ja johdetaan vikavirrat hallitusti maahan, vaikka vikatilanne olisi kuinka epätodennäköinen tahansa. Siksi rajatapauksissa tulisi aina ensisijaisesti päätyä maadoittamaan kohde. Toissijaisesti voidaan miettiä maadoitustarpeen laajuutta ja mahdollisimman tarkoituksenmukaista toteutusta.

Suurimman riskin sähkörataympäristössä muodostavat jännitteelliset johtimet sekä ilmastolliset ylijännitteet, joissain tapauksissa myös pienjännitelaitteet. Ilmastollisten ylijännitteiden ja pienjännitelaitteiden aiheuttamaa riskiä on vaikea arvioida, mutta todennäköisyyttä sille, että jännitteelliset ajojohtimet putoavat tai sinkoutuvat ulkoisista syistä, voidaan arvioida jo hieman tarkemmin. Mikäli pohditaan kohteen maadoittamista tai tavallista laajemman maadoituksen tekemistä, voidaan käyttää apuna päättelyä ja ennakointia, jossa arvioidaan tilannetta paikallisesti yleistettyjen tilanteiden sijaan. Tällaista menettelyä voidaan kutsua paikalliseksi riskianalyysiksi. /6./

3.2 Paikallinen riskianalyysi

Yleisesti riskianalyysillä tarkoitetaan toteuttamiskelpoisia toimenpiteitä turvallisuuden parantamiseksi. Se on kokemuksiin, tietoon ja määräyksiin perustuva arviointi ja päättelyprosessi, joka voidaan laatia myös sähköteknisille kohteille ensisijaisena päämääränä sähköturvallisuuden parantaminen. Tarkemmin riskianalyysia on kuvattu julkaisussa "Rautatieliikenteen onnettomuusriskit ja turvaamistoimenpiteet" osissa 1 ja 2 /7/.

Sähköteknisessä mielessä riskianalyysiä voidaan käyttää tehokkaimmin paikallisesti silloin, kun pohditaan esimerkiksi tietyn laiturikohteen tai suoja-aitarakenteen maadoittamismenettelyä. Tällöin mietitään esimerkiksi kosketusjännitteiden leviämisestä aiheutuvaa vaaraa tai maasulun todennäköisyyksiä juuri tietyn kohteen osalta.

Sähköratavaurioiden todennäköisyyteen vaikuttavat pääosin tekniset ja liikenteelliset syyt sekä ulkoiset syyt.

Teknisiä ja liikenteellisiä riskejä lisääviä syitä ovat:

- turvavaihteiden jälkeiset lyhyet päättyvät raiteet
- linjavaihteet, vaihekujat ja puolenvaihtopaikkojen vaihteet
- imumuuntaja- ja vaihteenlämmitysmuuntajapylväät
- erotuskentät, erotusjaksot ja ryhmityseristimet
- haruksella tuetut pylväsrakenteet
- syöttöasemien lähiympäristö
- laskumäkiratapihat ja laskumäkitöiden yleisyys
- vaihtotyöt ja vaihtotöiden yleisyys
- junaliikenteen yleisyys
- tasoristeysten yleisyys ja tyyppi
- vaarallisten ulkoisten jännitteiden käyttö ja syöttöpisteet (esimerkiksi 1500 V vaununlämmitys).

Ulkoisia syitä ovat:

- ilkivalta, sabotaasi ja itsetuhoisen käyttäytyminen
- tikkaiden, onkivapojen ja muiden ulottuvien esineiden kuljettaminen radan läheisyydessä
- radan yli kulkevat sillat
- radan muut yläpuoliset rakenteet.

Liikenteellisistä syistä johtuen on todennäköisempää, että vaihteissa ja vaihekujissa sattuu suistumisonnettomuus, jossa ajolanka irtaana vääntyvästä sähköratapylvästä. Karkuun päässeet vaunut voivat ajautua turvavaihteen lyhyelle raideosuudelle ja suistua siten, että sähköratapylväs vaurioituu. Ulkoisista syistä radan ylikulkusiltaan muodostuneet jääpuikot voivat aiheuttaa valokaaren syttymisen sillan ja ajolangan välillä, ilkivaltatilanteessa voidaan jännitteisiin osiin heittää kappale, joka aiheuttaa esimerkiksi säätötilan muuttuessa läpilyönnin ja maavuodon.

Maavuodosta seuraavaa sähkötapaturmariskiä kasvattavat esimerkiksi seuraavat tekijät:

- suuri liikennöimisaste (autot ja ihmiset)
- suurien ihmismäärien jatkuva oleskeleminen
- yhtenäiset johtavat pinnat, vesistöt, suojakaiteet ja muut laajat johtavat rakenteet
- alhaalla tukkoisten ojien lähellä sijaitsevat kohteet (asematunnelit, alikulut)
- radan lähellä kulkeva vilkasliikenteinen kevyenliikenteen väylä
- hyvin huonosti sähköä johtava maaperätyyppi (joskus myös hyvin johtava maaperä).

Vaikka maavuototilanteet olisivatkin korostuneesti mahdollisia jollakin tietyllä paikalla, on otettava huomioon myös alueella olevat tekijät, jotka tekevät maavuototilanteista henkilöturvallisuuden kannalta tavallista suuremman riskin /18/. Voidaankin pohtia, tarvitaanko keskellä vaikeakulkuista metsää olevaan aitaan hyvin kattavia kosketusjännitteen rajoittamisratkaisuja, vaikka aita sijaitisi esimerkiksi laskumäen läheisyydessä. Toisaalta voidaan pohtia, tarvitaanko vilkasliikenteisen ulkoilureitin varressa olevaan kulkuesteaitaan kattavaa kosketusjännitesuojausta, jos aita sijaitsee suhteellisen harvaliikenteisellä avoradalla, ja lähistöllä ei ole muuntajia tai erotusjaksoa.

Koska sähköistettyjen ratojen määräykset usein vaativat maadoituksen tekemistä, harkittavaksi jää, miten huolellisesti ja kattavasti maadoitusratkaisut toteutetaan.

Maadoitusjohtimien sijoitus, kiinnitys ja liitokset muodostavat usein kokonaisuuden, joka voi olla kokonaan hyödytön, jos jokin liitos on esimerkiksi liiallisen kulumisen seurauksena muuttunut suuri-impedanssiseksi. Jos maadoitusjärjestelmä on vaurioitunut niin, ettei se ole ollenkaan yhteydessä maahan (tai paluukiskoon), vaarallisia kosketusjännitteitä voi levitä maadoitusjohtimia pitkin laajalle alueelle. Näin ollen maadoitusjärjestelmä on usein niin hyvä kuin sen heikoin kohta. /2; 6./

4 SÄHKÖRATAMAADOITUSTEN TARKOITUS

4.1 Sähköradan maadoitustarpeen perusteet

Yleisesti sähköradan maadoituksiin voidaan soveltaa standardin SFS 6001 esittämiä peruseriaatteita, vaikka standardissa rajataankin SFS 6001 vaikutus pääsääntöisesti vain rautateiden syöttöasemia koskevaksi.

Standardi SFS 6001 asettaa tiettyjä edellytyksiä maadoitusrakenteille. Näitä ovat mm. edellytys, että maadoitukset tehdään korroosionkestäviksi ja toteutetaan riittävällä lujuudella. Lisäksi maadoituksen (johtimet ja liitokset) on kestettävä termisesti suurin sen kautta mahdollisesti kulkeva oikosulkuvirta sekä muita ulkoisia rasituksia, kuten tärinää. Vaatimus, että maadoitus ei saa aiheuttaa vahinkoa omaisuudelle tai laitteille, edellyttää, että maadoitukset rakennetaan niin, että maasulku ei välittömästi aiheuta uhkaavia tulipaloja tai pahoja laitteistovaurioita sähköisten ja termisten vaikutusten vuoksi. /8, s. 70./

Henkilöturvallisuuden kannalta ehkä merkittävin vaatimus on, että maasulun aikana maadoitusten kautta kulkeva suurin mahdollinen vikavirta ei aiheuta henkilöturvallisuutta vaarantavia kosketus- tai askeljännitteitä.

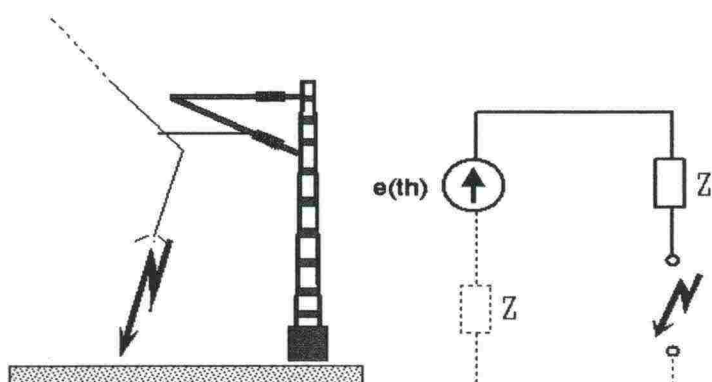
Sähkörataympäristössä, etenkin asema-alueilla, voi oleskella runsaasti ihmisiä, joiden välittömässä läheisyydessä kulkee 25 kV:n jännite sekä mahdollisesti muita vaarallisia jännitteitä. Lisäksi sähkörata-alueella voi kulkea sähköisesti yhtenäisiä aitarakenteita ja muita pintoja, jotka ovat materiaaliltaan sähköisesti hyviä johteita. Näin ollen vain riittävän laajalla maadoituksella kosketusjännitteet voidaan rajoittaa riittävän pieniksi.

Maavuototilanteiden lisäksi hetkellisiä jännitteitä johtaviin kosketeltaviin osiin voi aiheutua sähkövetokaluston käyttö- ja oikosulkutilanteista. Erilaiset indusoituneet hajakännitteet, ulkoisen sähköverkon jännitteet sekä ilmastolliset ylijännitteet voivat aiheuttaa lyhytkestoisia suuriakin kosketusjännitteitä. Laajalle levinneet jännitteet voivat aiheuttaa myös mittavia tuhoja muissa sähkölaitteistoissa, etenkin elektronisia komponentteja sisältävissä laitteistoissa. Pienemmässä mittakaavassa jännitteet voivat aiheuttaa häiriöitä herkissä telelaitteissa ja tiedonsiirtoyhteyksissä. /2./

4.2 Maavuototilanne

Mikäli sähkölaite vikaantuu siten, että sen normaalisti jännitteettömänä oleviin kosketeltaviin osiin pääsee jännite, tapahtuu niin sanottu maavuoto. Tavallisesti maavuoto syntyy esimerkiksi tapaturman, johtimen kannattimien pettämisen, vieraan johtavan kappaleen osuessa jännitteisiin osiin tai eristysaineen heikentymisen seurauksena.

Maavuoto on vaarallisimmillaan silloin, kun mikään suojalaite ei havaitse sitä riittävän nopeasti, esimerkiksi suuri-impedanssisen vikavirtatien johdosta. Näin saattaa käydä puutteellisten tai vikaantuneiden maadoitusten vaikutuksesta. Mikäli maavuotovirta kohtaa pienen maadoitusimpedanssin, se aiheuttaa ylikuormituksen seurauksena suojalaitteiden toiminnan ja syötön katkeamisen. /9./



Kuva 6. Yksinkertaistettu malli vikavirtatiestä

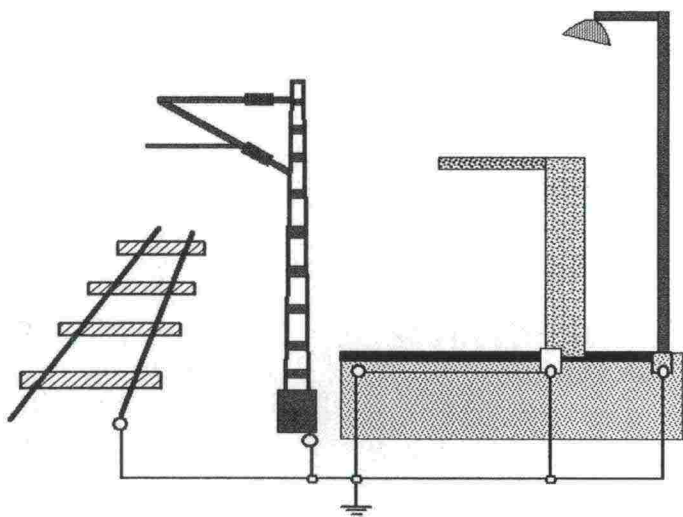
Vikavirtatielle syntyy impedansseja syöttävän verkon puolelta. Lisäksi vaikuttaa maadoitusimpedanssi, joka on paljon suurempi kuin syöttävän verkon impedanssit. Piirin kokonaisimpedanssin on oltava riittävän pieni, jotta piirissä kulkisi virtaa niin paljon, että suojalaitteet pystyisivät erottamaan maavuototilanteen normaalin käyttötilanteen kuormituksesta.

4.3 Potentiaalintasaus

Potentiaalintasaus on suojausmenetelmä sähköiskuja vastaan. Sen tarkoitus on saattaa jännitteille alttiit kosketeltavat osat pieni-impedanssiseen sähköiseen yhteyteen keskenään ja lopulta mahdollisimman pienen maadoitusimpedanssin kautta maahan.

Kun kaikki kosketeltavat osat ovat samassa potentiaalissa, ei potentiaalieroja juurikaan synny. Näin ollen vaarallisen jännitteen pääsy potentiaalintasausjärjestelmään aiheuttaa sen, että jännitteestä huolimatta kahden tai useamman samanaikaisesti kosketeltavan osan välille syntyy vain pieni jännite. Näin sähköön haitalliset fysiologiset vaikutukset pyritään minimoimaan.

Potentiaalintasauksella on sähköturvallisuuden lisäksi merkitystä myös häiriösuojauksessa. Potentiaalierojen pienentyessä myös antenni- ja telekaapeleihin kohdistuvat häiriöt pienenevät. Tästä on huomattavaa hyötyä liikenteenohjauslaitteiden häiriöttömän toiminnan kannalta. On syytä myös huomata, että sähköradan liikennöinti indusoi liikkuvien sähkömagneettisten kenttien vaikutuksesta radan läheisyydessä oleviin johtaviin rakenteisiin erilaisia vaihtelevia jännitteitä, jotka neutraloituvat maadoituksista aiheutuvan potentiaalintasauksen ansiosta. /9./



Kuva 7. Esimerkki laiturialueen potentiaalintasauksesta.

Laiturialueen potentiaalintasaus voi muodostua esimerkiksi kupariköydellä yhdistettyjen paluukiskon, sähköratapylvään, valaisinpylvään ja laiturikatoksen metallisen seinärakenteen avulla.

4.4 Kiskopotentiaali

Kiskopotentiaalilla tarkoitetaan ratakiskon ja maan välille syntyvää potentiaaliero. Potentiaalieron suuruuteen vaikuttavat useat seikat, kuten imu- tai säästömuuntajan läheisyys, radalla liikennöivän kaluston sijainti ja määrä sekä paikalliset maadoitukset. Hetkellisesti kiskopotentiaali voi kasvaa huomattavasti esimerkiksi poikkeuksellisen suuren kuormituksen ansiosta. Suurta kiskopotentiaalia voidaan pitää aina haitallisena ilmiönä.

Kiskopotentiaali on otettava huomioon erityisesti kosketusjännitesuojauksen kannalta, sillä pääosa sähköradan suojamaadoituksista suoritetaan paluukiskoon. Tällöin kohonnut kiskopotentiaali voi levitä suojamaadoitusjohtimien välityksellä esimerkiksi paluukiskoon maadoitetun yksittäisen kohteen maadoitettuun runkoon. Kiskopotentiaalini leviäminen tulee ennakoida maadoitusjärjestelmien suunnittelussa. Kattava potentiaalintasausjärjestelmä pystyy neutraloimaan kiskopotentiaalini haitalliset vaikutukset. Kohonnut kiskopotentiaali aiheuttaa myös rajoituksia ratamaadoitusten yhdistämisestä yleisen pienjänniteverkon suojamaadoitusjohtimiin. /6./

Käytettäessä 2 x 25 kV -sähköratajärjestelmää kiskopotentiaali voi nousta 1 x 25 kV -järjestelmän n. 40 V:sta lähes 70–95 V asti. Sähköratapylväiden kosketusjännitteiden rajoittamiseen joudutaan tällöin käyttämään maahan pylvään ympärille asennettavia potentiaalintasauselektrodeja. /3, s. 36; 10, s. 34./

4.5 Kiskopotentialista aiheutuvat kosketusjännitteet

4.5.1 Kosketusjännitteiden kestoajat

Eurooppalainen standardi EN 50122-1 määrittelee suurimpien sallittujen kosketusjännitteiden keston ja suuruuden rautatieympäristössä. RHK on hyväksynyt standardin antamat ohjearvot julkaisussa B10. /10, s. 34./

Kosketusjännite ei rautatieympäristöön sovellettuna välttämättä edellytä syntyäkseen vikatilannetta, sillä myös sähköradan käyttötilanteet voivat aiheuttaa hetkellisiä jännitteen nousuja kosketeltavissa osissa ilman varsinaista vikaakin. Näin ollen sanalla "kosketusjännite" voidaan rautatieympäristössä tarkoittaa yleisesti kosketeltavien osien välille tai kosketeltavan osan ja referenssimaan välille syntyvää jännitettä.

Kosketusjännitteiden kestoajat jaetaan kolmeen eri luokkaan: lyhytaikainen, väliaikainen ja pitkäaikainen. Mitä suurempi jännite on kyseessä, sitä lyhyemmän ajan se saa vaikuttaa. Jännitearvot ilmoitetaan tehollisarvoina. /10, s. 35./

Taulukko 1. Kosketusjännitteet keston mukaan jaoteltuina

Kesto	t(s)
Lyhytaikainen	$\leq 0,5$
Väliaikainen	$0,5 \leq t \leq 300$
Pitkäaikainen	> 300

4.5.2 Pitkäaikaiset kosketusjännitteet

Pitkäaikainen kosketusjännite voi aiheutua kiskopotentialista ja se on nimensä mukaisesti kestoaltaan jatkuvaluonteista, suuruudeltaan enintään 60 V. Konepajoissa ja vastaavissa paikoissa pitkäaikainen kosketusjännite saa kuitenkin olla vain 25 V. Pitkäaikaista kosketusjännitettä esiintyy ilman varsinaista vikaakin.

4.5.3 Väliaikainen kosketusjännite

Väliaikainen kosketusjännite aiheutuu sähkörataympäristössä pääosin sähköjuna-liikenteen seurauksena. Kiskopotentiali, ja sitä myötä kosketusjännite, voi sähköjunan virranottotilanteiden seurauksena hetkellisesti nousta noin kaksi kertaa pitkäaikaista kosketusjännitettä suuremmaksi.

Taulukko 2. Suurimmat sallitut väliaikaisen kosketusjännitteen kestoajat

t(s)	U _k (V)
0,6	160
0,7	130
0,8	110
0,9	90
1	80
≤00	65

4.5.4 Lyhytaikainen kosketusjännite

Lyhytaikainen kosketusjännite syntyy aina vikatilanteen seurauksena. Se muodostuu käytännössä sähköjunan oikosulun seurauksena. Tällöin voi kiskoon ja siihen liitettyihin osiin muodostua hyvin lyhyeksi ajaksi pitkä- ja väliaikaiseen kosketusjännitteeseen verrattuna noin kymmenkertaiset jännitteet.

Taulukko 3. Lyhytaikaisen kosketusjännitteen sallitut kestoajat

T(s)	U _k (V)
0,02	940
0,05	935
0,1	840
0,2	670
0,3	497
0,4	305
0,5	225

4.6 Sähköratavauriot

Liikkuva kalusto, sääolosuhteet, luonnollinen kuluminen, ilkivalta sekä erilaiset onnettomuustilanteet aiheuttavat vuosittain eriasteisia sähköratavaurioita. Riskialttiimmat tapahtumat syntyvät, kun ajolanka putoaa osittain tai kokonaan maahan. Tällöin on mahdollista, että vaurion yhteydessä 25 kV jännite pääsee kosketuksiin suoraan tai pienen ilmapälin kautta esimerkiksi laiturikatoksiin ja suoja-aitoihin. Usein kuitenkin ajolanka koskettaa ensin kiskoa tai kiskokalustoa, jolloin vikavirran leviäminen ympäristöön on vähäisempää pienen maadoitusvastuksen vuoksi.

4.7 Tilapäisluontoiset maadoitukset

Erilaiset tilapäisluontoiset olosuhteet, kuten ratatyöt, aiheuttavat kasvaneen sähkötapaturmariskin. Ratatöiden yhteydessä rakenteet, maasto ja työntekijät voivat muuttua koko ajan ja turvallisia työrutiineja ei ehdi muodostua. Siksi on erittäin tärkeää, että myös tilapäiset kohteet varustetaan kestäville ja toimiville maadoituksilla. Asennustavaltaan tilapäiset maadoitukset voivat olla vähemmän kiinteitä kuin pysyvissä kohteissa, mutta ennen kaikkea jokaisen maadoitusjärjestelmän osan tulee kestää työn aiheuttamia rasituksia. Tilapäismaadoitusten kuntoa on pystyttävä myös valvomaan, erityisesti työmailla, joissa oleskelee ulkopuolisia henkilöitä.

5 ULKOISEN SÄHKÖVERKON VAIKUTUS MAADOITUKSIIN

5.1 Yleisen sähköverkon käyttö

Ulkoisen sähköverkon jännitteillä tarkoitetaan sähköratajärjestelmään kuulumattomia jännitteitä, jotka ovat peräisin rautatiealueen ulkopuolelta. Esimerkiksi laiturikatoksen valaisimia syötetään ulkoisen sähköverkon jännitteellä, mutta vaihteiden lämmitysmuuntajat toimivat ajojohtimesta otetulla muunnetulla sähköradan jännitteellä.

Suojamaadoitetut, yleisen sähköverkon jännitettä käyttävät laitteet ovat yhteydessä tavallisesti yleisen sähköverkon pääkeskuksen päämaadoituskiskoon. Useissa tapauksissa kuitenkin sähköradan suojamaadoitukset ja potentiaalintasausverkot ovat galvaanisessa yhteydessä myös pienjännitepuolen suojamaadoituksiin esimerkiksi pienjännitelaitteiden suojamaadoitetun rungon kautta. Toisinaan sähköratamaadoitukset ovat jakopisteistä yhdistetty yleisen sähköverkon PE-johtimeen, mikäli paikan kiskopotentiaali ei ole ollut liian korkea. /10, s. 36./

Kun suur- ja pienjännitejärjestelmän maadoitukset ovat galvaanisessa yhteydessä toisiinsa, tärkeintä on, ettei suurjännitejärjestelmästä (sähköratajärjestelmästä) aiheudu normaali- tai vikatilanteissa sellaisia jännitteitä pienjänniteverkkoon, jotka voisivat aiheuttaa vaaraa henkilöille tai omaisuudelle. Myös sähköradan käyttötilanteista muodostuvien sähköisten häiriöiden siirtyminen pienjännitejärjestelmään on otettava huomioon.

5.2 Yleisen sähköverkon ja rautatiemaadoitusten yhdistäminen

Mikäli käyttövirralla kiskopotentiaalista aiheutuva kosketusjännite on vähintään 50 V, yleisen sähköverkon PE- tai PEN-johdinta ei saa kytkeä suoraan paluukiskoon. Yhdistystä ei saa myöskään tehdä, mikäli toimenpide aiheuttaisi liiallista lämpenemistä PE- tai PEN-johdoissa. /10, s. 36./

Käytännössä määräys tarkoittaa sitä, että kiskopotentiaalilla ollessa liian korkea pienjännitelaitteen pienjännitejärjestelmään suojamaadoitettu runko ei saa olla suorassa sähköisessä kosketuksessa esimerkiksi maadoitetun laiturikatoksen, sähköratapylvään tai minkään paluukiskoon yhteydessä olevan osan kanssa. Pää- tai ryhmäkeskuksen maadoituskiskot on pidettävä erillään sähköratamaadoituksista.

Sähköratamaadoituksien ja päämaadoituskiskon erillään pysyminen voi olla hankala toteuttaa, varsinkin, jos maadoitettuja rakenteita on paljon ja niihin on sijoitettu myös yleisen sähköverkon laitteita. Voidaan siis todeta, että aina kun sähköratajärjestelmään maadoitettuihin rakenteisiin tuodaan yleisen sähköverkon jännitteitä esimerkiksi valaistusta varten, tulee kiskopotentiaali saattaa aina niin pieneksi, että sähköratamaadoitukset ja ulkoisen sähköverkon maadoitukset voidaan suoraan yhdistää toisiinsa. Näin samalla paikalla sijaitsevien maadoitusjärjestelmien potentiaalierot saadaan pysymään mahdollisimman pieninä.

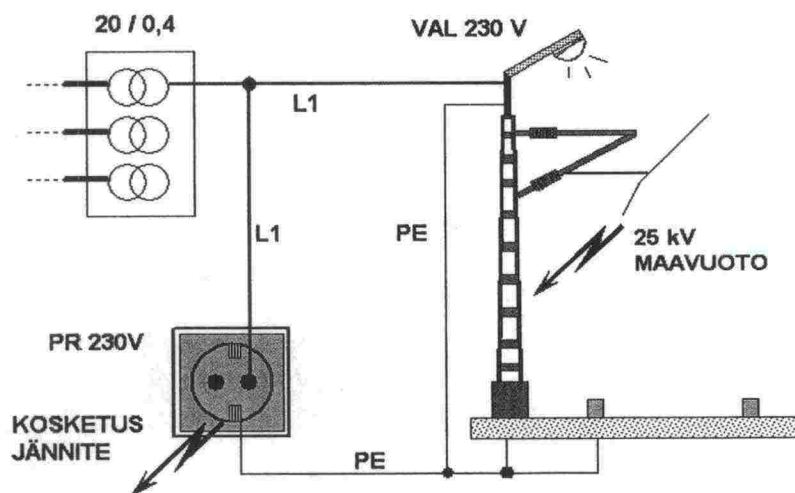
5.3 Suur- ja pienjänniteverkon maadoitusten yhdistäminen

Standardi SFS 6001 mukaan pien- ja suurjännitejärjestelmien maadoitus olisi yhdistettävä toisiinsa silloin, kun suurjännitejärjestelmän maadoitusjärjestelmien alueen sisäpuolella on pienjänniteasennuksia. Standardi antaa kuitenkin ehtoja yhteisen maadoituksen käytölle. Tärkein vaatimus on, ettei pienjännitejakeluverkossa tai siihen liitetyissä sähkön käyttäjän laitteistoissa saa esiintyä vaarallisia kosketusjännitteitä johtuen suurjännitejärjestelmistä. /8, s. 76./

Käytettäessä pienjännitettä rautatiealueella tulee siis ottaa huomioon se, minkälaiset vaikutukset suurjännitejärjestelmässä sattuva maavuoto aiheuttaa pienjännitejärjestelmään. Ajojohtimen ja vastajohtimen maavuodolle suunnitellun suojamaadoitusjärjestelmän tulee olla niin tehokas, ettei yleisen sähköverkon johtimiin pääse vaarallisen suuruisia jännitteitä vikatapauksissakaan.

5.4 Suur- ja pienjännitemaadoitusten yhdistämisen riskit

Mikäli suur- ja pienjännitejärjestelmän suojamaadoitukset ovat sähköisessä yhteydessä keskenään, suurjännitemaasulusta voi aiheutua kosketusjännitettä pienjännitejärjestelmään. Kosketusjännitteen suuruus riippuu siitä, kuinka hyvä maadoitus suurjännitepuolelle on järjestetty. Mitä suurempi suurjännitepuolen maadoitusimpedanssi on, sitä suurempi osa vikavirrasta kulkee huomattavasti heikompirakenteisten pienjänniteasennusten kautta.



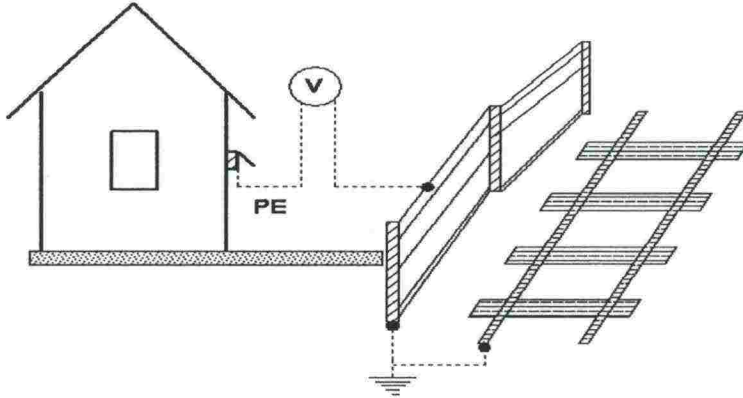
Kuva 8. Huoltopistorasia ja valaisin kytkettynä samaan syöttöön

Pistorasiaan liitetyn suojamaadoitetun laitteen runkoon kohdistuu vikatilanteessa jännite, joka voi kulkeutua maahan esimerkiksi työkonetta kädessään pitävän henkilön lävitse, jos työkonetta käytetään hyvin johtavalla maaperällä.

Pienjännitepuolelle kulkeutuvaa suurjännitepuolen vikavirtaa voidaan rajoittaa vähemmän haitalliseksi varmistamalla, että kohta, jossa ulkoisen sähköverkon PE- tai PEN-johdin yhdistyy sähköratarakenteeseen, on mahdollisimman pieni-impedanssisessa yhteydessä paluukiskoon. Liitosjohtojen tulee olla lyhyet ja paluukiskomaadoitus tulee olla tehty mahdollisimman huolellisesti ja kestävästi.

5.5 Erillään olevat suur- ja pienjännitemaadoitukset

Rautatiealueen läheisyydessä voi sijaita pienjännitepistorasioita, joiden suojamaadoitukset eivät ole yhteydessä sähköratamaadoituksiin. Tällaisia ovat esimerkiksi radan läheisyydessä sijaitsevat yksityisessä omistuksessa olevat asuintalot, jotka on varustettu yhdellä tai useammalla ulkopistorasiolla.



Kuva 9. Maadoituspotentiaalieron muodostuminen

Käytettäessä kiinteistöjen ulkopistorasioita voidaan samanaikaisesti koskettaa sähköradan maadoitettuja kohteita, kuten suoja-aitaa. Erityisesti 2 x 25 kV -järjestelmän alueella kiskopotentiaali voi olla paikoin niin korkea, että potentiaaliero voi syntyä maadoitusten välille. Tällaiset kohteet tulee ottaa huomioon korkeiden kiskopotentiaalien alueilla, koska pienjännitepuolelle sijoitetut virransuojakatkaisijat tai vikavirtasuojakytkimet eivät anna suojaa potentiaalın kohdistuessa ensisijaisesti maadoitusjohtimiin.

6 LAITURIKATOSTEN MAADOITUS

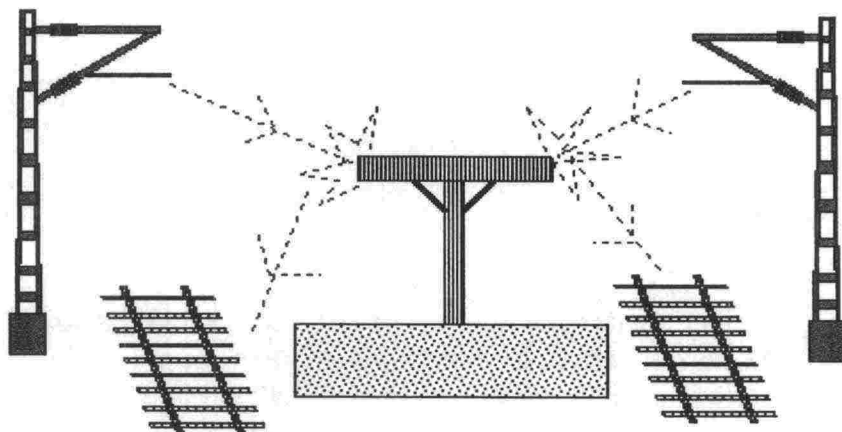
6.1 Laiturikatoksen maadoittaminen

Sähköradan henkilö- ja tavaralaitureilla sijaitsevat jännitteelle alttiit kosketeltavat osat tulee määräysten mukaan maadoittaa paluukiskoon. Maadoitus on tarpeellinen, koska laiturikatosten korkeimmat osat sijaitsevat usein varsin lähellä jännitteisiä ajojohtimia. Katosten rakenne muodostaa usein myös yhtenäisiä johtavia pintoja, jotka voivat toimia vikavirtapiirin osina. /3, s. 31./

Laiturikatosten maadoituksen tarkoitus on kosketusjännitteiden pienentäminen ja sähköradan suojalaitteiden nopean toiminnan mahdollistaminen vikatilanteessa. Maadoitukset pyrkivät tasaamaan erilaisten kosketeltavien osien potentiaalit, jotta vaarallisia potentiaalieroja ei synny vika- eikä käyttötilanteissa. Ajolangasta peräisin olevien jännitteiden lisäksi rakenteisiin voi siirtyä jännitettä myös 230/400 V:n pienjännitelaitteista sekä ilmastollisten ylijännitteiden seurauksena. Vikajännitteen syntytavasta riippumatta kaikki laiturikatokseen muodostuvat jännitteet voivat aiheuttaa vakavaa vaaraa lähellä oleskeleville henkilöille.

6.2 Sinkoutuva ajolangan aiheuttama vaara

Tarkastellaan ajolangan sinkoutumistilannetta matkustajalaiturilla, jossa on sadesuojakatos.



Kuva 10. Ajolangan sinkoutuminen laiturikatokseen

Erilaisissa onnettomuus- ja vauriotilanteissa ajolankaan tai sähköratapylväisiin voi kohdistua voimakkaita ulkoisia voimia, joiden voimasta putoavan ajolangan putoamissuunta muuttuu ja tapahtuu hallitsematon sinkoutumistilanne.

Ajolangan osuessa laiturikatokseen muuttuu laiturikatoksen yhtenäiset johtavat osat hetkellisesti jännitteisiksi. Maanpintaan laiturikatoksen välittömään läheisyyteen voi muodostua myös askeljännitettä. /8, s. 19./

Ajolangassa kulkeva noin 25 kV:n jännite aiheuttaa hyvin lyhyilläkin vaikutusajoilla vakavia fysiologisia vaikutuksia. Tehokkaalla maadoituksella ja potentiaalintasauksella

voidaan kuitenkin vähentää huomattavasti vikatilanteiden aiheuttamaa vaaraa kosketus- ja askeljäännitteitä pienentämällä.

6.3 Katoksen rakenteellinen näkökulma

Laiturikatoksen kattorakenteessa tulee olla mahdollisimman paljon johtavaa materiaalia, jotka ovat galvaanisessa yhteydessä toisiinsa. Ulkokatossa voidaan käyttää materiaalina myös lasia tai muovia, kunhan niiden metalliset pidikkeet ovat sähköisessä yhteydessä katoksen reunaan. Näin saadaan kaikki johtavat kattorakenteet samaan potentiaaliin keskenään sekä pieni-impedanssinen vikavirtatie muodostettua.

Kattorakenteen radan puoleisten reunojen ja ulkokaton pinnan maadoituksen tulee olla erityisen vahva, koska se on ajolankaa lähinnä oleva rakenne. Esimerkiksi sähköratapylvään kallistuminen voi aiheuttaa valokaaren syttymisen, jolloin juuri laiturikatoksen katon reuna-alueille kohdistuu hetkellisesti voimakasta termistä rasitusta.

Yleisesti laiturikatoksen maadoituksen suunnittelun tulee lähteä siitä, että metallirakenteiden sauma- ja liitoskohdat tulee yhdistää sähköisesti toisiinsa kuparilenkillä, mikäli on epäiltävissä, että liitos selkeästi vastustaa vikavirran kulkua tai voi muuttua sellaiseksi ulkoisten tekijöiden myötä. Toinen lähtökohta on se, että ainakin yhden maadoitusliitoksen irtoaminen ja muuttuminen kokonaan johtamattomaksi ei vielä aiheuta katokseen maadoittamatonta tai suuri-impedanssisessa yhteydessä paluukiskoon olevaa aluetta.

6.4 Katoksen johtavien reuna-alueiden vahvennus

Laiturikatoksen radan puoleisessa reunassa tulee olla vahva yhtenäinen johtava pinta, jotta oikosulkuvirta voi siirtyä reunan välityksellä pieni-impedanssisesti kohti maadoitusjohdinta. Mikäli reuna-alue on virrankestoltaan heikko, vikavirta voi kulkeutua muita reittejä, jolloin kosketusjännitteet ja rakenteiden terminen kesto voivat muodostua ongelmaksi.

Mikäli laiturin molemmilla puolilla sijaitsee sähköistetty raide, tulee laiturikatoksen vahvistettu reunamateriaali yhdistää toisiinsa katoksen molemmissa päissä poikisuuntaisella mahdollisimman lyhyellä kupariköydellä, jos reunat eivät ole suoranaيسessa rakenteellisessa yhteydessä toisiinsa. Näin varmistetaan pieni-impedanssinen vikavirtatie siinäkin tapauksessa, että reuna-alueen sähköinen yhtenäisyys olisi heikentynyt muuhun katokseen ulkoisista syistä johtuen. Erityisesti tämä pätee silloin, jos reuna-alueet koostuvat erillisistä elementeistä, jotka on yhdistetty toisiinsa kupariköyttä käyttäen.

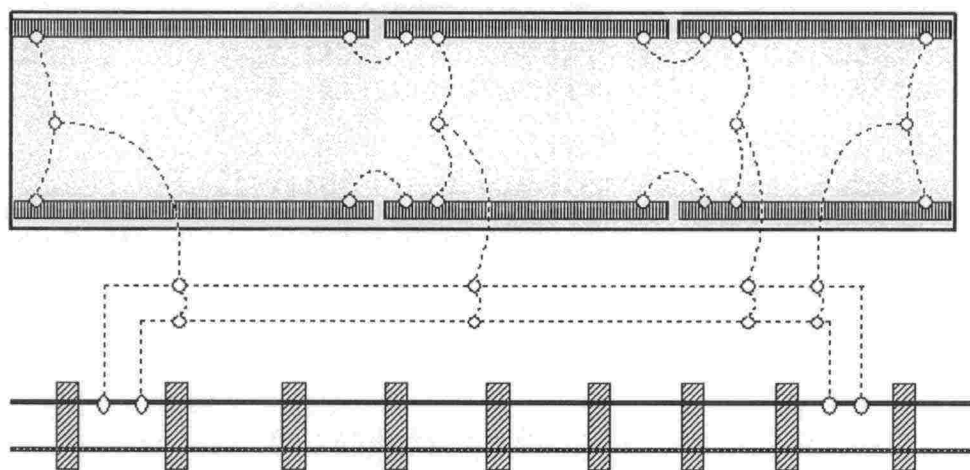
Johtavan reunarakenteen sauman kohdalla yhdistys seuraavaan reunamateriaaliyksikköön tulisi tehdä lyhyellä kupariköysilenkillä ja tukevalla liitoksella. Reunarakenteen yhdistyskohdan läheltä voidaan vielä tehdä liitos yhdistettyyn maadoitusjohtoon tai suoraan paluukiskoon. Tällöin yhden sauman yli vedetyn kupariköysilenkin irtoaminen ei vielä jätä katon reuna-alueelle maadoittamatonta aluetta.

Laiturikatoksen molempien päätyjen kupariköydet voidaan tuoda alas katoksen kannatinpylväiden rakenteiden välissä. Mikäli paluukiskoon ei käytännön syistä haluta

tehdä jokaisen kuparilenkillä yhdistetyn reunan epäjatkuvuuskohdan kohdalle kiskoliitosta, voidaan käyttää maassa kulkevaa keräysjohtoa. Erillinen keräysjohto tulee toteuttaa vähintään kahdella kupariköydellä, koska keräysjohdon katkeaminen heikentäisi maadoitusominaisuuksia huomattavasti. Keräysjohto tulee myös kiinnittää kiskoon kahdella erillisellä kiinnikkeellä, jotta yksittäisten liittimien irtoaminen ei vaarantaisi koko katoksen suojamaadoituksen toimivuutta.

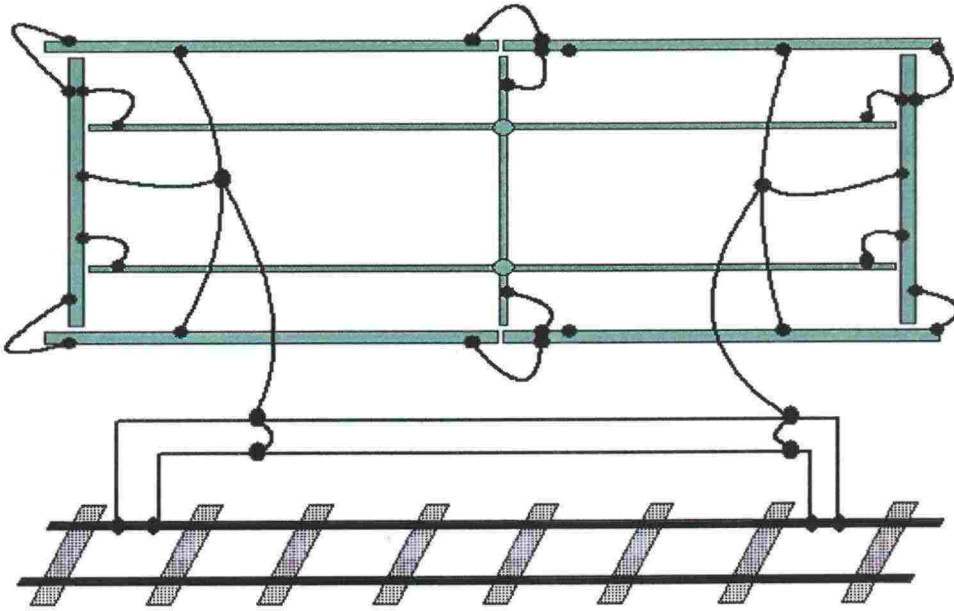
6.5 Maadoituskytkennät laiturikatoksille

Asetettujen lähtökohtien pohjalta voidaan suunnitella maadoituskytkennät erilaisille laiturikatoksien tyypeille. Seuraavassa on esitetty katoksien kattoalueiden maadoituskytkentämallit tapauksiin, joissa katos koostuu pääosin metallista, puusta tai muovista ja lasista.



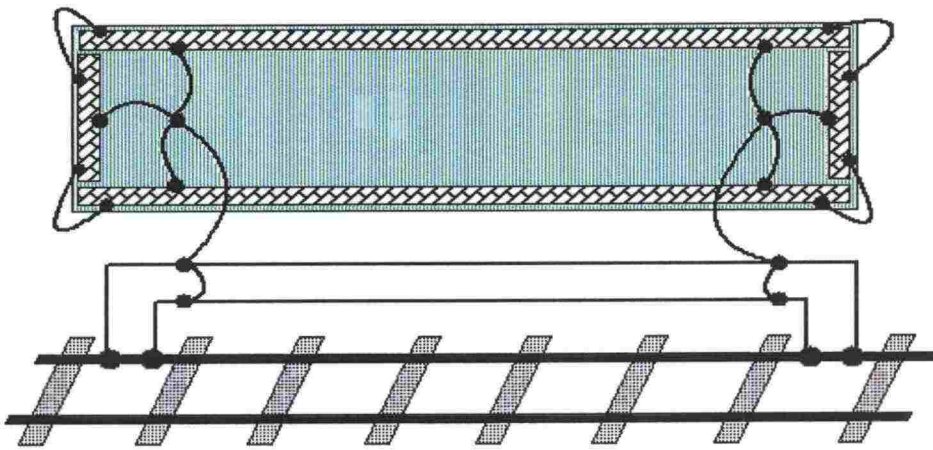
Kuva 11. Maadoitusmalli metalliselle laiturikatokselle

Maadoitus on toteutettu kahdennettua keräysjohtoa käyttäen. Reuna-alueen epäjatkuvuuskohdat on saatettu sähköiseen yhteyteen keskenään kuparilenkeillä ja jokainen sähköisesti yhtenäinen reunaelementti on maadoitettu paluukiskoon maadoitettuun keräysjohtoon.



Kuva 12. Maadoitusmalli lasi- ja muovipintoja sisältävälle katokselle

Kannatinkehikko on saatettu kuparilienkeillä hyvään sähköiseen yhteyteen keskenään. Liitos paluukiskoon on toteutettu kahden keräysjohtimen kautta katoksen vasemmasta ja oikeasta päädyistä. Vikavirran aiheuttamat termiset rasitukset on pyritty ohjaamaan vahvempiin reunarakenteisiin.



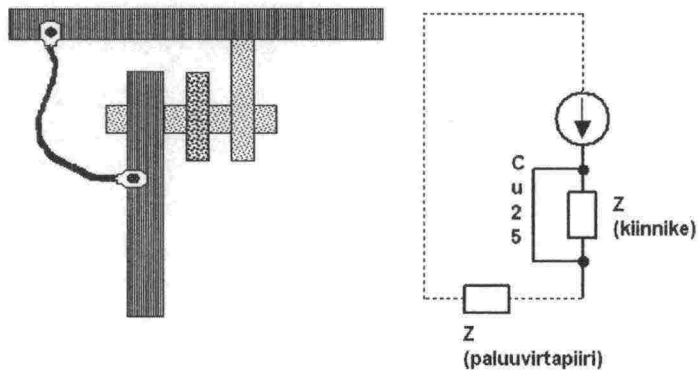
Kuva 13. Puusta valmistettu laiturikatos

Puinen laiturikatos johtaa huonosti sähköä, joten on mahdollista, että vikavirran kuumentava vaikutus aiheuttaa tulipalon. Katoksen reuna-alueille on syytä kiinnittää vahva metallinen yhtenäinen pinta, jotta se kestää rakenteellisesti vikavirran termiset vaikutukset. Metallinen pinta saatetaan sähköisesti yhtenäiseksi, kuten muissakin katostyypeissä.

6.6 Rakenteita yhdistävät liitokset vikavirtareitillä

Laiturikatoksia on rakenteeltaan lukuisia erilaisia niin rakennustekniikan kuin käytetyn materiaalin puolesta. Koska maadoituksen tarkoituksena on myös potentiaalintasaus, tulee kiinnittää huomiota siihen, että kaikki katoksen johtavat osat ovat mahdollisimman pieni-impedanssisessa yhteydessä toisiinsa.

Käytännössä erilaiset liitosrakenteet ja saumat saattavat aiheuttaa korroosion, likaantumisen, pintakäsittelyn ja kiinnityspulttien löystymisen seurauksena rakenteeseen kohtia, jotka alkavat muuttua yhä huonommin sähköä johtaviksi. Rakenteeseen muodostuu vastuksia, jotka aiheuttavat potentiaalieroja ja jos ne sattuvat vikavirran pääkulkureitille, vikavirran termiset vaikutukset saattavat aiheuttaa heikkojen kiinnityskohtien pettämisen ja jopa kantavien rakenteiden vaurioitumisen. Tämän estämiseksi rakenteellisesti monimutkaisten liitoskohtien yli voidaan asentaa kupariköysilenkki, joka siirtää mahdollisen vikavirran pieni-impedanssisesti liitoskohdan yli ja tasaa liitettävien kookkaampien kappaleiden potentiaalit.



Kuva 14. Pieni-impedanssinen vikavirtatie liitoskohdan yli

Kuparilenkki tekee sähköisen "ohituskaistan" vikavirralle suuri-impedanssisemman liitosrakenteen yli. Sijaiskytkennän impedanssi $Z(\text{kiinnike})$ kuvaa kiinnityskohdan impedanssia, jonka kuparilenkin asentaminen käytännössä lähes kokonaan poistaa.

7 SUOJA-AITOJEN MAADOITUS

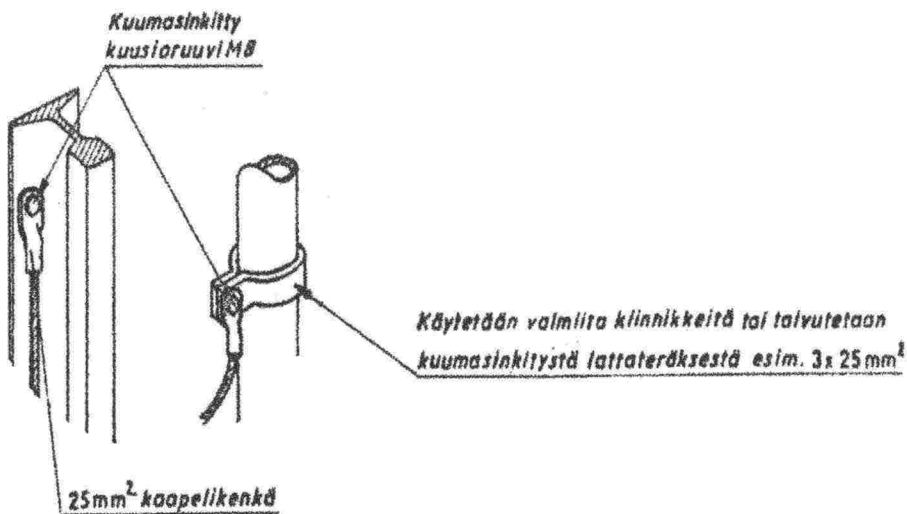
7.1 Aitarakenteiden maadoitusten perustelut

Rautatiealueella esiintyy erilaisia aitarakenteita, joiden tehtävänä on meluntorjunta sekä ihmisten ja eläinten pääsyn estäminen rautatiealueelle. Kulkuesteaidat voidaan sijoittaa raiteiden väliin, jolloin niiden tarkoitus on estää raiteiden luvaton ylitys. Liikennepaikkojen ulkopuolella aidat on sijoitettu tavallisesti molemmille puolille rautatiealuetta. Paikoissa, joissa rata kulkee asutusalueiden läpi, kulkuesteaidan sijasta käytetään yleensä melua pienentävää aitarakennetta.

Aidat muodostavat toisinaan pitkiäkin sähköisesti yhtenäisiä radansuuntaisia kokonaisuuksia, mikä on otettava huomioon aitojen maadoituksen suunnittelussa. Sähköradan laitteiden vikatilanteissa aitoihin voi siirtyä vaarallisia kosketusjännitteitä. Rakenteensa puolesta pitkät aidat voivat levittää kosketusjännitteitä pitkällekin matkalle ja joissain tapauksissa on mahdollista, että jännitteitä siirtyy täysin sähköradan ulkopuolisiin kohteisiin. Normaalisissa käyttötilanteessakin erilaisten hajajännitteiden indusoituminen pitkiin aitoihin on mahdollista ilmastollisia ylijännitteitä unohtamatta. /2; 9./

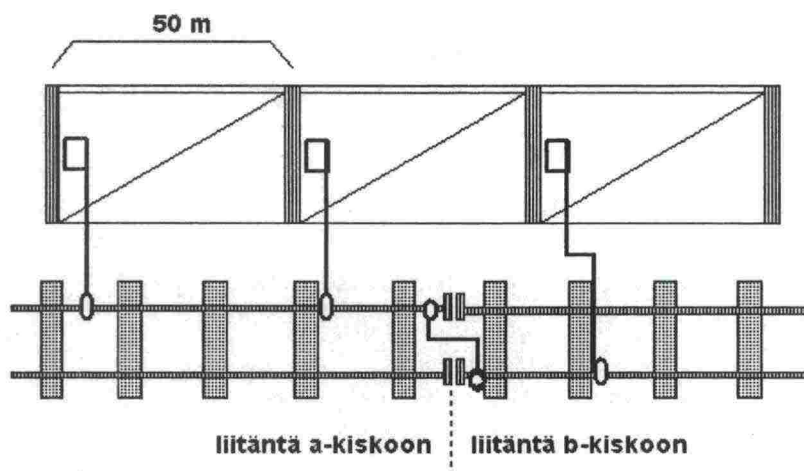
7.2 Nykyiset määräykset aitojen maadoittamisesta

Aidat tulee määräysten mukaisesti maadoittaa sähköistetyllä radalla, mikäli aitarakenne sijaitsee viittä metriä lähempänä raiteen keskiviivaa. Määräyksen mukaan metalliset suoja-aidat, jotka ovat maadoittamista edellyttävällä alueella, maadoitetaan molemmista päistä. Jos aidan pituus on alle 50 m, riittää maadoittaminen yhdestä pisteestä. Yli 50 m pituiset aidat maadoitetaan molempien päiden lisäksi myös n. 50 m välein. /3, s. 38./



Kuva 15. Aidan maadoittaminen tolpan välityksellä

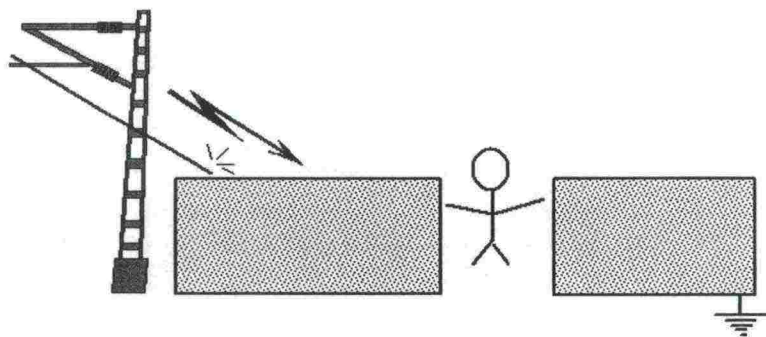
Aita maadoitetaan yleensä liittämällä maadoitusjohtimen liitos aidan tolppaan. Liitokset on syytä kiinnittää tiukasti ja siten, ettei kiinnikkeen alle jää ruostetta tai huonosti johtavaa pintakäsittelyainetta. Vaikka aitarakenteet johtaisivat erittäin hyvin sähköä, voi virheellisesti tehty maadoitusliitos lisätä maadoitusresistanssia jopa useita ohmeja.



Kuva 16. Pitkän aidan maadoituksen periaate

7.3 Aidan sähköinen yhtenäisyys

Maadoituksen ja yleisen sähköturvallisuuden kannalta aidan galvaaninen yhtenäisyys ja yhteyden pieni-impedanssisuus on erityisen tärkeää. Useimmiten aitarakenteessa on ainakin yksi yhtenäinen lanka, köysi, kisko, levy tai muu vaakasuuntainen jatkuva ja johtava rakenteellisesti vahva elementti. Portin ja kulkuaukon kohdalla aidan sähköinen yhtenäisyys voi katketa, jolloin samanaikaisesti kosketeltavalle välille voi syntyä potentiaalieroja.



Kuva 17. Aidan epäjatkuvuuskohdan aiheuttama sähköturvallisuusriski

Vaarallisin tilanne syntyy, kun maadoittamaton osa aidasta tulee jännitteelliseksi. Tällöin kosketettaessa hyvässä maapotentiaalissa olevaa aitaa ja vian vuoksi jännitteelliseksi muuttunutta aitaa samanaikaisesti, henkilö joutuu osaksi hengenvaarallista virtapiiriä.

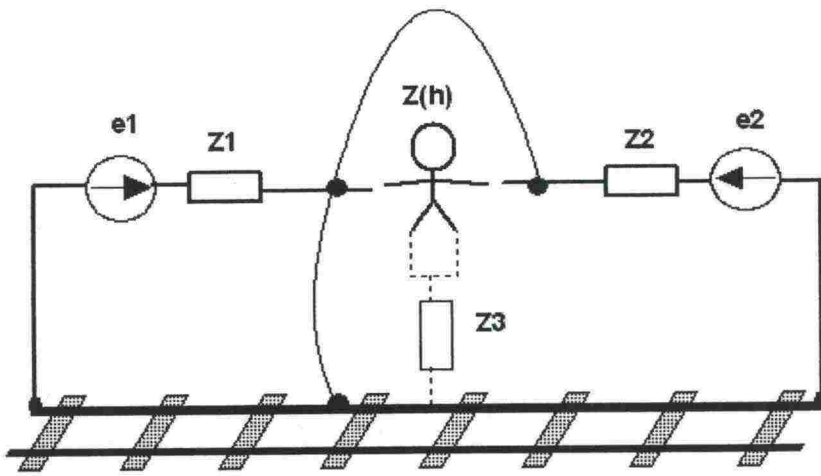
7.4 Samanaikaisesti kosketeltavat aidan osat

Vaikka aidan porttia tai aukkoa ympäröivät aitarakenteet olisi jostakin pisteestä maadoitettu, tulisi lisäksi sähköturvallisuussyistä tasata samanaikaisesti kosketeltavien osien potentiaalit siten, ettei osien välille voi missään olosuhteissa syntyä vaarallisia

potentiaalieroja. Aidan aukosta kuljettaessa voidaan koskettaa aitaa aukon molemmilta puolilta samanaikaisesti. Tällöin henkilön läpi muodostuu virran kulun kannalta edullinen virtatie, sillä ympäröivän maan impedanssi voi olla paljon suurempi kuin henkilön läpi kulkevan virtatien impedanssi.

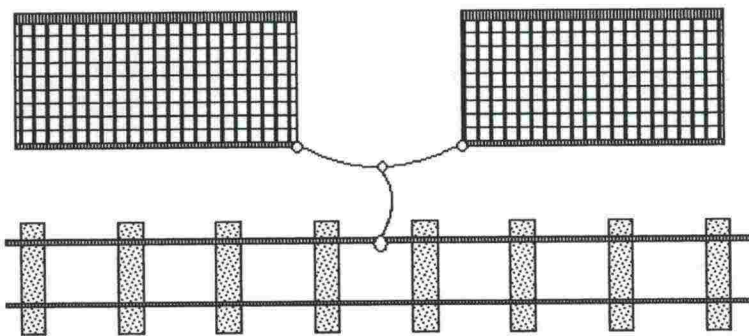
Maadoitusmalli, jossa aidan sähköisen yhtenäisyyden katkeamiskohdassa aidan molemmat puolet yhdistetään, ei välttämättä poista potentiaalieroja aidan ja maan väliltä. Siksi on mahdollista, että aitaa kosketettaessa vikavirta kulkee koskettajan kädestä jalkoja pitkin maahan.

Aitojen keskinäisen potentiaalieron ja aitojen maata vastaan muodostaman potentiaalieron pienentämiseksi voidaan laatia maadoitusmalli, jossa aidan sähköisesti erillään olevat osat, esimerkiksi portin tai aukon kohta, yhdistetään toisiinsa kupariköydellä. Samalla liitoskohta maadoitetaan paluukiskoon tai M-johtimeen.



Kuva 18. Potentiaalierojen poistaminen aidan lyhyen aukon kohdalla

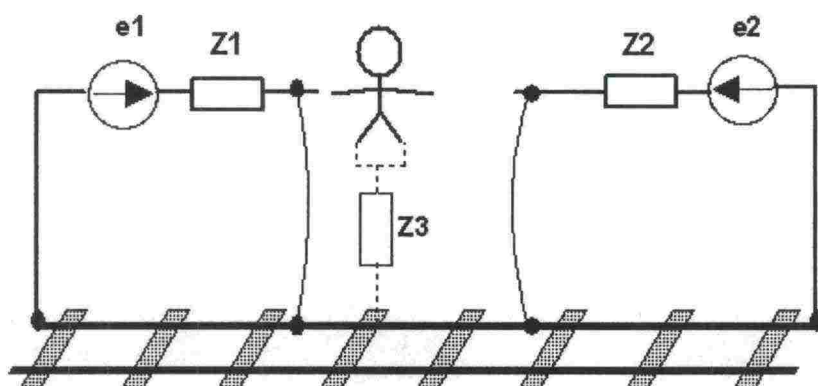
Kuvan 18 mukaisesti aidan aukon kohdalla vikajännitelähde $e1$ tai $e2$ aiheuttavaa jännitteen kulkeutumisen aidan aukolle asti. Jos potentiaalintasausta ei ole toteutettu, vikavirta kulkee henkilön läpi, impedanssin $Z(h)$ kautta. Osa virrasta kulkee maahan impedanssin $Z3$ kautta. Vikavirrat voidaan ohjata potentiaalintasausjohtimien avulla siten, että henkilöön kohdistuvat virrat ja jännitteet jäävät hyvin vähäiseksi.



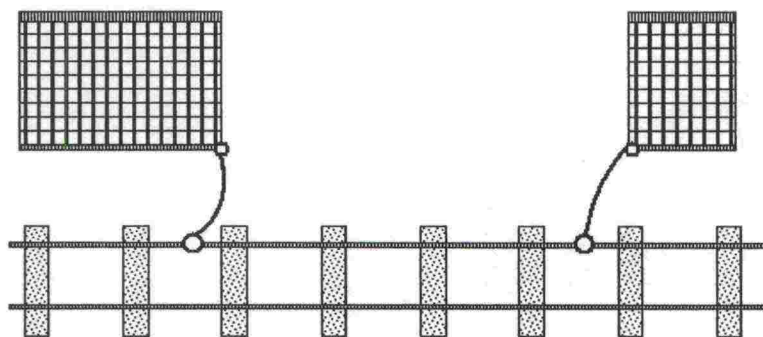
Kuva 19. Aidan lyhyen epäjatkuvuuskohdan potentiaalintasaus

7.5 Pidemmät epäjatkuuuskohdat

Jos aitojen samanaikainen koskettelu ei ole aukon leveyden vuoksi mahdollista, ei aitoja tarvitse välttämättä saattaa erillisen maadoitusjohtimen välityksellä keskenään samaan potentiaaliin. Aukon reunat voidaan kuitenkin yhdistää paluukiskoon tai M-johtimeen. Näin saadaan aidan ja maan välinen potentiaaliero mahdollisimman pieneksi. Aitojen etäisyyden tulisi tällöin pysyä koko ajan riittävän suurena eikä esimerkiksi liikuteltava portti saa pienentää aitojen väliä liiaksi. Muuten tulee menetellä kuten lyhyiden aukkojen tapauksessa.



Kuva 20. Aitojen pitkän epäjatkuuuskohdan potentiaalintasaus



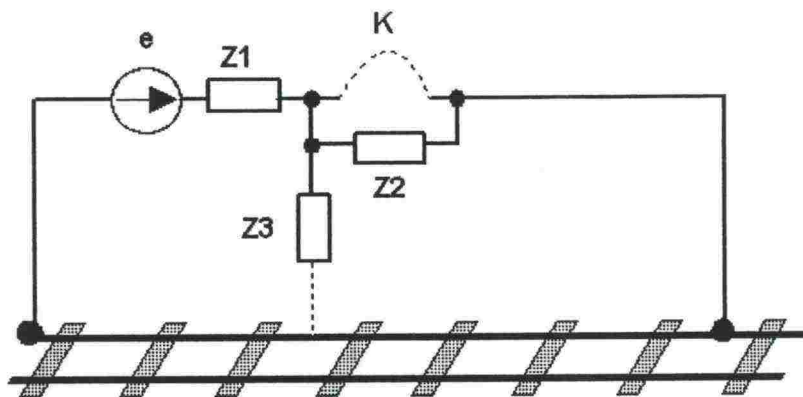
Kuva 21. Pitkän epäjatkuuuskohdan potentiaalintasaus käytännössä

7.6 Aidan sähköisen yhtenäisyyden turvaaminen

Aitarakenteiden sähköiseen yhtenäisyyteen tulee kiinnittää huomiota erityisesti silloin, kun kyseessä on verkkoaita eli vaaka- ja pystysuuntaisista langoista koostuva punos. Tällaisissa aidoissa on yleensä yksi tai useampi vaakasuuntainen paksumpi lanka, putki tai levy, joka ulottuu aitarakenteen päästä päähän, ja josta käytetään tässä nimitystä aidan pääjohde.

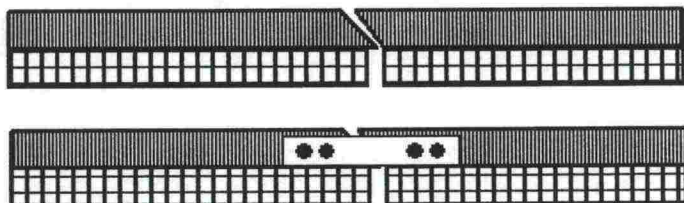
Pääjohde muodostaa suuremman poikkipinta-alansa sekä pieni-impedanssisimman rakenteensa johdosta vikavirran pääkulkureitin aitarakenteessa. Mikäli pääjohde ei ole sähköisesti yhtenäinen, vikavirta alkaa kulkea katkoskohdan kohdalta aidan heikompien ja ohuempien osien kautta aiheuttaen rakenteen voimakasta lämpenemistä.

Suurempi-impedanssisemmaksi muuttunut vikavirtatie hidastaa suojalaitteiden toimimista ja aiheuttaa sähkö- ja palotapaturmariskin, joka voi kohdistua koko aitaan. Tästä syystä pääjohteen tulee olla yhtenäinen, tai se tulee saattaa yhtenäiseksi, koko aidan matkalta.



Kuva 22. Katkos aidan pääjohteessa

Pääjohteen katkoskohta K aiheuttaa sen, että vikajännitettä kuvaava jännitelähde e syöttää jännitteen aidan heikkoja rakenteita kuvaavan impedanssin $Z2$ läpi aiheuttaen voimakkaitakin termisiä vaikutuksia. Osa vikajännitteestä kulkeutuu maahan impedanssin $Z3$ kautta. Impedanssi $Z1$ kuvaa jännitteen alenemia sekä jännitelähteiden sisäistä impedanssia.



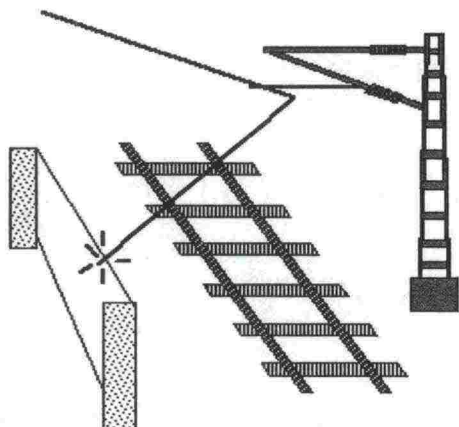
Kuva 23. Aidan pääjohteen katkeaman korjaaminen

Pääjohteen rakenteellinen tai muista syistä aiheutunut epäjatkuvuuskohta tulee saattaa tukevasti sähköä johtavaan yhteyteen keskenään esimerkiksi metallilevyllä. Yhdistämisessä on huomioitava se, että sauman kohdalla pääjohteen poikkipinta-ala on vähintään sama kuin aidan muissakin kohdissa. Mikäli liitoksen tekeminen ei ole mahdollista, sauman molemmat puolet tulee yhdistää keskenään ja liittää paluukiskoon, kuten portin tai aukon tapauksessa tehdään.

7.7 Eristävä materiaali aidan päällä

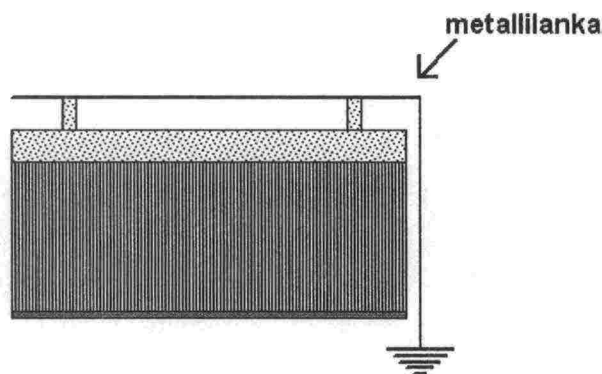
Meluesteaidoissa ja myös muissa aitarakenteissa ei saa esiintyä aidan korkeimmalla olevissa kohdissa materiaaleja, jotka johtavat huonosti sähköä. Esimerkkejä huonoista materiaaleista ovat lasi, muovi, kivi ja puu. Ajolangan sinkoutuessa on mahdollista, että lanka koskettaa radan välittömässä läheisyydessä sijaitsevaa aitarakennetta. Tällöin todennäköisin langan ensikosketuspaikka on aidan yläosa. Jos yläosa on toteutettu huonosti sähköä johtavasta aineesta, sähköradan suojalaitteiden toiminta viivästyy

suuren maadoitusimpedanssin vuoksi ja vaaratilanne pitkittyy. Siksi aidan yläosan johtavuuden on vastattava Cu25-johtimen johtavuutta.



Kuva 24. Ajojohdin pudotessaan suoja-aidan yläosaan

Kun aidan korkeimpien kohtien johtavuus on huono, voidaan johtavuutta parantaa sijoittamalla aidan korkeimmalle kohdalle yhtenäinen maadoitettu metallilanka, putki tai kisko. Johtava materiaali tulee mitoittaa siten, että se kestää maasulkuvirran aiheuttaman termisen rasituksen, korroosion, kulumisen ja mahdollisen ilkvallan.



Kuva 25. Johtavan materiaalin sijoitus aitarakenteen päälle

Aidan pääjohteen voi katsoa olevan huonosti johtava myös, jos se on peitetty paksulla maalikerroksella tai muulla huonosti sähköä johtavalla pintakäsittelyaineella. Mikäli maisemallisista syistä vahvasti pintakäsiteltyyn metalliseen aitaan ei haluta sijoittaa erillistä, hyvin sähköä johtavaa vaijeria aidan yläosan päälle, aidan yläosan pintakäsittelyä tulee ohentaa niin paljon, että pieni-impedanssinen virtatie maahan muodostuu erityisesti aidan korkeimmalla olevista osista.

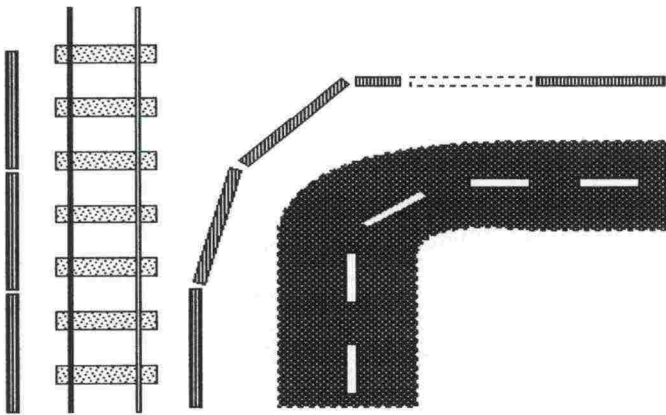
7.8 Rata-alueen ulkopuolelle menevä aita

Paluukiskoon maadoitetun aidan kulkiessa kauas rautatiealueelta on mahdollista, että aita pitkin siirtyy kuormitus- ja vikatilanteiden jännitteitä sekä telelaitteisiin

kohdistuvia häiriöitä rata-alueen ulkopuolelle. Aitaan saatetaan liittää myös ulkoisen sähköverkon maadoituksia tietämättä, että aita on sähköisessä yhteydessä sähköratajärjestelmään. Tällöin kosketusjännitteet ja häiriöt voivat siirtyä odottamattomiinkin paikkoihin. Siksi tulee välttää tilanteita, jossa rata-alueen potentiaaleja johdetaan selkeästi rata-alueen ulkopuolelle esimerkiksi aitoja tai kaiteita pitkin. Paras tapa katkaista potentiaalien eteneminen on tehdä aitaan selkeä aukko tai eristetty kohta.

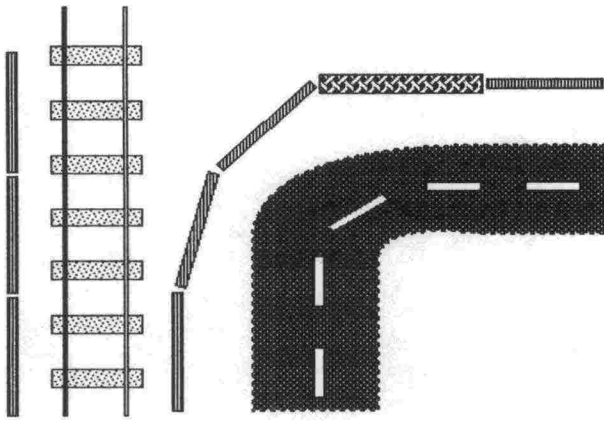
Potentiaalin eristämistä aidasta ei tulisi kuitenkaan tehdä liian nopeasti aidan lähtiessä kulkemaan pois päin rata-alueesta. Pääsääntöisesti voidaan todeta, että aita on katkaistava tai eristettävä sitten, kun se on kulkeutunut rata-alueesta noin kymmenen metrin päähän, koska vaurioitilanteessa rata-alueen jännitteellisten johtimien aiheuttaman vaara-alueen suuruutta ei pystytä arvioimaan kovin tarkasti. Jos aidan eristys suoritetaan liian lähellä rata-aluetta, on mahdollista, että sähköratavaurioitilanteessa jännitteellisiä johtimia osuu aidan eristetylle puolelle, jolloin voi syntyä laaja-alainen sähkötapaturma-vaara.

Potentiaalien siirtyminen rata-alueen ulkopuolelle voidaan toteuttaa katkaisemalla johtava aitarakenne siten, ettei aidan molempien reunojen samanaikainen koskettelu ole mahdollista edes lyhyehkön kuviteltavissa olevan johtavan apuvälineen avulla.



Kuva 26. Ratapotentiaalin leviämisen estäminen katkaisemalla aitarakenne

Johtava aitarakenne voidaan katkaista myös korvaamalla yksi tai useampi aitaelementti suuri-impedanssisella aitaelementillä. Elementin tulee olla ainakin niin pitkä, ettei eristävän elementin ylitse ole mahdollista koskettaa samanaikaisesti edes lyhyehkön kuviteltavissa olevan apuvälineen avulla. Eristävän elementin tulee estää vaarallisen virran kulku kokonaan ja kestää myös ilmastollisten ylijännitteiden vaikutukset.



Kuva 27. Ratapotentiaalin leviämisen estäminen eristävän elementin avulla

7.9 Aidan maadoitustarve ja etäisyys radasta

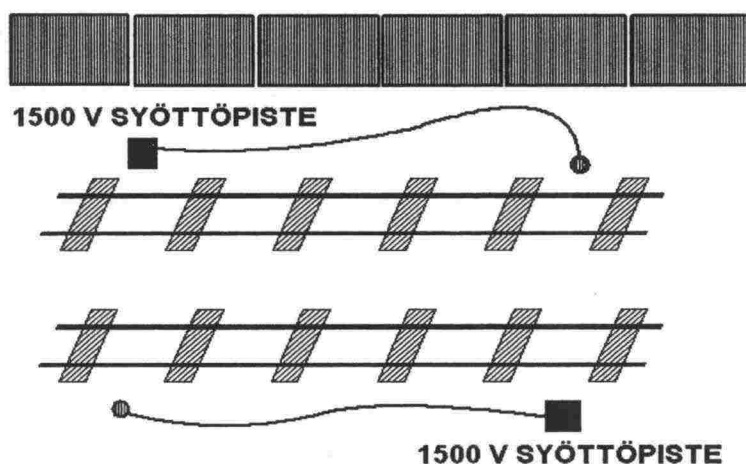
7.9.1 Nykyisen käytännön turvallisuus

Nykyisin käytössä oleva ehto, jonka mukaan aita on maadoitettava, mikäli se sijaitsee viittä metriä lähempänä raiteen keskiviivasta, voidaan katsoa olevan riittävä. Sähkörata-alueen jännitteellisten johtimien osuminen aitaan sähköratavauriotapauksessa on mahdollista, vaikka aita olisi kauempanakin kuin viiden metrin päässä raiteen keskiviivasta, mutta ei kuitenkaan kovin todennäköistä. Tarvittaessa on kuitenkin otettava huomioon mahdolliset todennäköiset seuraukset ajojohtimen hallitsemattomasta sinkoutumisesta ja laadittava paikallinen riskianalyysi, jonka pohjalta voidaan arvioida maadoitustarpeen laajuus.

7.9.2 Muiden ulkoisten jännitteiden vaikutus

Alueilla, joissa käytetään 1 500 V:n vaununlämmitys- tai 230/400 V:n syöttöpisteitä siten, että jännitteisiä kaapeleita voidaan siirrellä alueella, voi olla tarpeen maadoittaa aitarakenteita yli viiden metrin päässä raiteen keskiviivasta ulkoisten jännitteiden muodostaman vaaran vuoksi.

Tilanteessa, jossa varikkoa suojaava aita on lähellä 1 500 V:n syöttöpistettä, jännitteinen kaapeli voi taipuessaan kulkea hyvinkin läheltä aitarakenteita. Tästä syystä tulee tarkoin harkita, onko tällaisissa tilanteissa tehtävä aitaan maadoitus, vaikka aita sijaitsisi yli viiden metrin päässä raiteen keskiviivasta.



Kuva 28. Epäkiinteitä jännitekaapeleita suoja-aidan lähistöllä

7.10 Lyhyiden ja heikkojen aitojen maadoittaminen

Heikoiksi aidoiksi voitaisiin katsoa lyhyet, alle kuuden metrin mittaiset hyvin kevyet aitarakenteet, jotka on sijoitettu esimerkiksi ajoesteeksi metsätien ja radan kohtaamis-pisteeseen tai siihen verrattavaan ympäristöön.

Mikäli lyhyt aidanpätkä sijoitetaan alle viiden metrin päähän raiteen keskiviivasta ja sijoituspaikan lähistöllä ei oleskele pysyvästi henkilöitä, aita voitaisiin jättää kokonaan maadoittamatta, koska riski ajolangan jäämiseen jännitteisenä aidan päälle tai jännitteen vuotamistilanteen todennäköisyys on lähes olematon. Vaikka ajolanka osuisikin aitaan, ajolangan aiheuttama mekaaninen vaara olisi todennäköisesti lähes yhtä suuri kuin sähköstä aiheutuva vaara.

Kun hyvin pieniä kohteita ei maadoiteta, on yleisesti huomioitava, ettei aita ole sähköisessä yhteydessä mihinkään laajempaan yhtenäiseen johtavaan kokonaisuuteen. Samasta syystä aitaan ei saisi liittää omaa erillistä maadoituselektrodiä tai yleisen sähköverkon maadoituksia. Mikäli lähistöllä on muuntoasema tai vastaava keski- tai suurjännitelaitteiston maadoituselektrodi, lyhytkin aita on syytä aina maadoittaa paluukiskoon, jotta maata pitkin leviävät vikatilanteen potentiaalit eivät voisi ylittää sallittuja kosketusjännitearvoja. /9./

7.11 Pitkän aidan maadoitusvälit

Arvioitaessa pitkän aidan maadoitustiheyttä tulee ensisijaisesti ottaa huomioon sähköradan suojalaitteiden toiminta-aikoihin liittyvä niin sanottu 10 ohmin sääntö, jonka mukaan maadoitusresistanssi tulee olla korkeintaan 10 ohmia sähköradan suojalaitteiden riittävän luotettavan toiminnan takaamiseksi maasulkutilanteessa. Sääntöä voidaan soveltaa myös pitkän aidan maadoittamiseen. /9./

Käytännössä sähköradan suojalaitteiden toiminta vikatilanteessa voi vaihdella useista eri tekijöistä johtuen. Asetellut vikatilanteen toimintarajat riippuvat alueen suuruudesta ja liikennetiheydestä. Esimerkiksi Helsingin alueen runsas junaliikenne vaatii, että suojalaitteiden toimintarajat on säädettävä vähemmän herkiksi, jotta tarpeettomilta jännitekatkoilta vältytään. Siksi yhtä yhtenäistä koko maan kattavaa suojalaitteiden

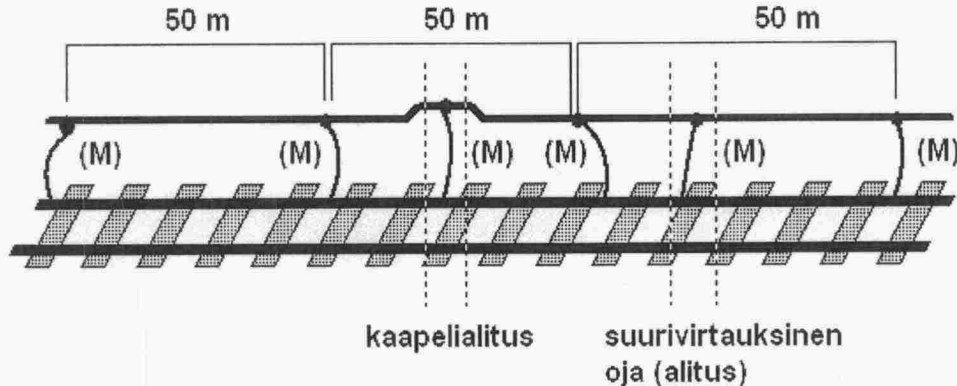
toimimisen aiheuttavaa vikavirran arvoa on hyvin hankala määrittää. Säädot ovat aina aluekohtaisia ja riippuvat myös käytettävän suojalaitteen tyypistä.

Aidan maadoitustilanteet voidaan jakaa riskianalyysin perusteella karkeasti kahteen eri prioriteettiin. Ensimmäiseen prioriteettiin kuuluu aita, joka kulkee runsaan asutuksen läpi, kevyenliikenteen väylän vieressä tai sijoittuu muuten vilkkaasti liikennöidylle paikalle. Toiseen prioriteettiin kuuluisi aita, joka sijaitsee pellolla tai metsässä, teiden ja muun liikennöinnin ulottumattomissa. On myös mahdollista, että pitkän aidan prioriteetti muuttuu aidan eri paikoissa.

7.12 Ensimmäiseen prioriteettiin kuuluva aita

7.12.1 Aidan maadoitusväli

Ensimmäisen prioriteetin aita voi sijaita alueella, jossa sähköratavaurion ja sen aiheuttaman vaaran voidaan katsoa olevan riskianalyysin perusteella todennäköinen. On myös otettava huomioon, että tällaisella alueella voi olla runsaasti erilaisia yhtenäisiä johtavia pintoja, jotka voivat kuljettaa sähköradan vikapotentialiaaleja kauemmaksi, kuten kaapelien vaipat, kaiteet, betoniraudoitukset, putkistot ja muut aitarakenteet radan lähistöllä. Siksi pitkän aidan maadoitusvälit eivät voi tällaisella paikalla olla kovin suuret. Ohjeiden mukainen aidan noin 50 metrin maadoitusväli voisi tulla kysymykseen perusmaadoitusvälinä. Suurien ojien, putkistojen ja kaapelialitusten kohdalla tulee olla säännöllisestä maadoitusvälistä huolimatta aina ylimääräinen maadoitus.



Kuva 29. Perusmaadoitukset ja lisämaadoitukset suoja-aidassa

Lisämaadoituksia on asennettava säännöllisesti toistuvien maadoitusten välille kaapelialituksiin ja ojien alituskohtiin sekä paikkoihin, joissa maavuodosta aiheutuvaa vaaraa voi pitää kohonneena tai maavuototilannetta tavallista todennäköisempänä.

7.12.2 Välimaadoituksen vaikutus henkilöturvallisuuteen

Lisä- tai välimaadoituksella tarkoitetaan ylimääräistä maadoituskohtaa, joka on säännöllisesti toistuvan 50 metrin maadoitusvälin sisällä. Välimaadoituksella voidaan perusmaadoitusten lisäksi rajoittaa kosketus- ja askeljännitteitä sekä estää rata-potentialien leviämistä rata-alueen ulkopuolelle.



Kuva 30. Esimerkki ensimmäisen prioriteetin suoja-aidasta

7.13 Toiseen prioriteettiin kuuluva aita

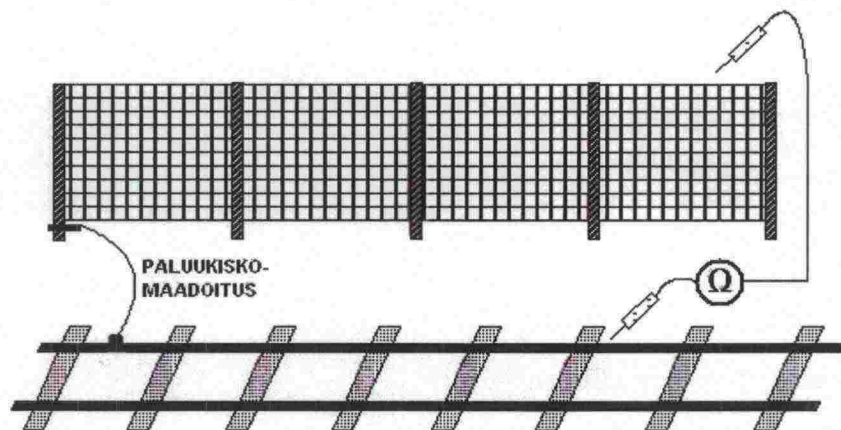
Toiseen prioriteettiin kuuluvalla aidalla laaditun riskianalyysin tulee osoittaa, että sähköratavauriosta aiheutuvat seuraukset ovat vähäisiä. Aita voi kulkea esimerkiksi vaikeakulkuisessa metsässä, ojan vieressä, pellon vieressä tai muuten sellaisessa paikassa, ettei voida olettaa suurien ihmismäärien toistuvasti joutuvan kosketuksiin aidan kanssa. Tällöin aidan maadoituksen pääasialliseksi tehtäväksi nousee ainoastaan tarjota pieni-impedanssinen vikavirtatie. Aitaa pitkin mahdollisesti leviävien vikajännitteiden ei odoteta aiheuttavan merkittävää vaaraa, vaikka lähin maadoituspiste ei olisikaan aivan jännitteen vuotopaikan lähistöllä.

Sähköradan suojalaitteiden häiriöttömän toiminnan takaamiseksi maadoitusresistanssi ei saa olla yli 10 ohmia. Toisen prioriteetin aita tulisi maadoittaa niin usein, että peräkkäisten maadoitusten väliltä voidaan mitata korkeintaan 10 ohmin resistanssi.

Maadoitusresistanssin määrittämisessä on otettava huomioon myös korroosion ja kulumisen vaikutus aidan liitoksiin ja muihin sähköiseen yhtenäisyyteen vaikuttaviin osiin. Mittaus voidaan suorittaa siten, että toinen mittauspää sijoitetaan paluukiskon kulutuspinnaalle ja toinen mittauspää aidan korkeimmalla olevaan yhtenäiseen sähköä johtavaan osaan. Kun mittauksen tulos lähestyy kymmentä ohmia, asennetaan paluukiskomaadoitus. Tämän jälkeen edetään taas mittauksia tehden, kunnes päästään lähelle 10 ohmin lukemaa, jolloin tehdään taas paluukiskomaadoitus.

Toisen prioriteetin maadoitusten maksimiväliksi voidaan arvioida noin 100–200 metriä. Sitä suurempia maadoituspisteiden välejä ei ole syytä tehdä, vaikka ohmilukema sen sallisikin, koska aitaan voi indusoida myös käyttötilanteiden jännitteitä. Myös suurempien ojien, kaapelialitusten, putkistojen ja kaivojen läheisyydessä aita on syytä maadoittaa, jotta estettäisiin ratapotentialien leviäminen rata-alueen ulkopuolelle. Mikäli aidan läheisyydessä sijaitsee sähkötoimisia turvalaitteita, relekojuja tai ulkoisen

sähköverkon laitteita, on ilmastollisten ylijännitteiden johtumisen vuoksi perusteltua maadoittaa aita ennen ja jälkeen tällaisten kohteiden.



Kuva 31. Impedanssimittaus toisen prioriteetin aidalle

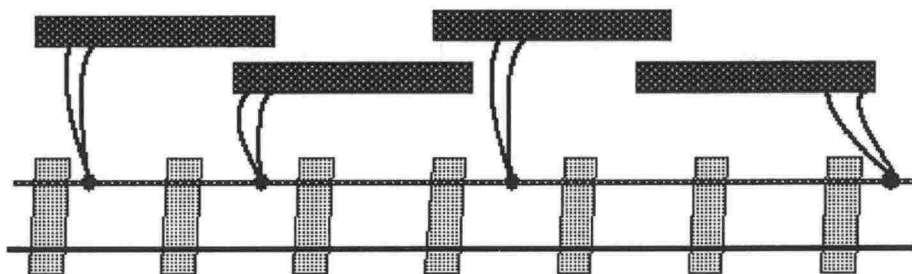


Kuva 32. Esimerkki toisen prioriteetin suoja-aidasta

7.14 Limittäin sijoitetut aitaelementit

Mikäli meluesteaidat tai muut aitarakenteet sijoitetaan osittain limittäin siten, että aitaelementit eivät muodosta yhtenäistä johtavaa pintaa muuta kuin oman elementtinsä osalta, jokainen aitaelementti tulee maadoittaa paluukiskoon tai M-johtimeen.

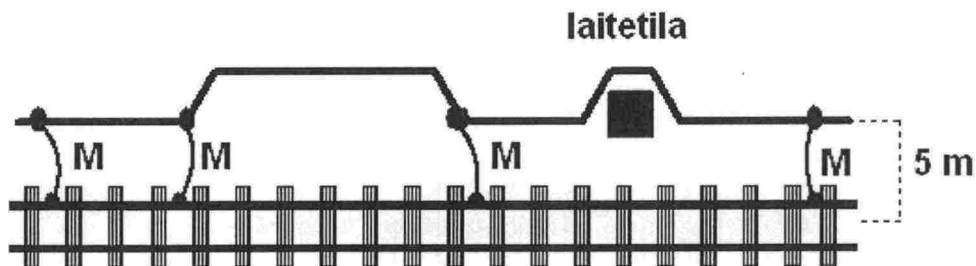
Useampia aitaelementtejä voidaan yhdistää toisiinsa ketjuttamalla ja maadoittaa vasta tietyssä pisteessä. On kuitenkin aina olemassa mahdollisuus, että aitoja yhdistävät maadoitusköydet vaurioituvat ja maadoitus jää paikoin puutteelliseksi. Siksi voidaan pitää suositeltavana, että maahan asennettavat maadoitusköydet pidetään mahdollisimman lyhyinä ja ketjutettuja maadoituksia ei tehdä, vaan jokainen aitaelementti maadoitettaisiin varmistetusti paluukiskoon tai M-johtimeen.



Kuva 33. Limittäin sijoitettujen aitaelementtien maadoitus

7.15 Aidan etäisyyden vaihtelu rataa nähden

Aita tulee maadoittaa siinä pisteessä, kun se kulkee maadoitusta edellyttävän etäisyyden ulkopuolelle tai palaa takaisin maadoitusta edellyttävälle etäisyydelle. Näin rata-alueelle tulevat ja sieltä lähtevät ylijännitteet saadaan tehokkaasti maadoitettua. Aidan tulee kuitenkin pysyä koko ajan rautatiealueella tai sen välittömässä läheisyydessä. Muussa tapauksessa aidan sähköinen yhtenäisyys tulee katkaista aidan siirtyessä koko rata-alueen ulkopuolelle. Maadoitusta ei kuitenkaan ole aina tarpeen tehdä, jos aidan etäisyyden muutos on lyhyehkö ja johtuu esimerkiksi opastimen, päätepuskimen tai vastaavan kohteen sijoituksesta ja tiheiden maadoituksien johdosta aitaan kohdistuvien ilmastollisten ylijännitteiden riskin ei katsota olevan kovinkaan suuri.



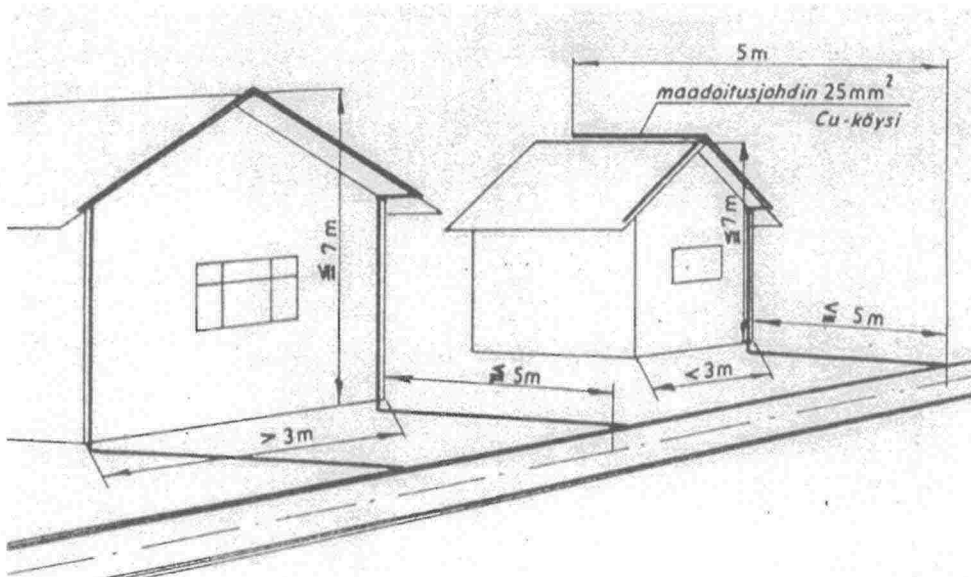
Kuva 34. Maadoitukset aidan etäisyyden vaihdellessa rataa nähden

8 RAUTATIEALUEEN RAKENNUKSIEN MAADOITTAMINEN

8.1 Nykyiset ohjeet rakennusten maadoittamiselle

Rakennusten maadoittamisesta määrätään RHK:n julkaisussa B10 /10, s.14/, Rata-tekniiset määräykset ja ohjeet -julkaisussa (RAMO) /3, s.39/ sekä Sähköistyksen kiinteiden laitteiden suunnittelu- ja rakentamisohjeissa (SSR) /11, 8.6409/.

Määräyksissä ja ohjeissa määritellään tietyin ehdoin, että annettujen etäisyyksien sisäpuolella rakennuksen laajat metalliosat sekä ikkunoiden yms. aukkojen metalliset suojaverkot ja -levyt on suojamaadoitettava paluukiskoon tai M-johtimeen. Lisäksi rakennusten nurkat ja muut kohdat, joihin sinkoutuva johdin todennäköisemmin osuu, tulee varustaa maadoitusjohtimilla.



Kuva 35. Maadoitusjohtimien sijoitus radan lähellä olevassa rakennuksessa

8.2 Rakennuksen maadoituksen tarkoitus

Rakennuksen maadoituksen tarkoitus on suojata talossa oleskelevia vaarallisilta vika-tilanteen jännitteiltä, vähentää vikavirran aiheuttamaa talon rakenteiden tulipaloriskiä ja estää vika-tilanteiden jännitteiden leviäminen pois rata-alueelta johtavia yhtenäisiä rakenteita pitkin.

Mikäli rakennus sijaitsee nykyisten ohjeiden mukaan viittä metriä lähempänä rataa, rakennuksen nurkat varustetaan maadoitusjohtimella ensisijaisesti siksi, että mikäli ajotai vastajohdin irtoaa ja sinkoutuu rakennuksen seinää vasten, todennäköisimmin johdin osuu rakennuksen kulmaan ja lähtee taipumaan kulman ympäri. Tällöin johdin koskettaa maadoitusköyteen ja syntynyt pieni-impedanssinen maavuoto aiheuttaa sähköradan suojalaitteiden nopean toiminnan. Pitkän rakennuksen keskiväliin sijoitettavien maadoitusköysien tehtävänä on maadoittaa sinkoutuva johdin mahdol-

lisimman nopeasti, silloin, kun on mahdollista, ettei ajojohdin osu rakennuksen kulmiin johtuen rakennuksen pituudesta.

8.3 Radan läheisyyden vaikutus rakennuksen maadoitustarpeeseen

RHK:n ohjeissa määritetään, että rakennuksen seinälle on asennettava suojamaadoitusjohtimet, mikäli rakennus sijaitsee viittä metriä lähempänä sähköistetyin raiteen keskiviivasta. Mikäli rakennus on korkeampi kuin seitsemän metriä, johtimien tulee ulottua seitsemän metrin korkeuteen asti. /11, 8.6409./



Kuva 36. Valkoinen piste on viiden metrin päässä raiteen keskiviivasta

Ajolangan käyttäytyminen katkeamis- ja sinkoutumistilanteissa on hyvin vaikeasti ennustettavissa. Mikäli ajojohtimen kiinnityksen irtoamisen aiheuttaa kalusto, lanka osuu todennäköisimmin kalustoon, jonka kautta maadoittuminen tapahtuu. Johdin voi myös maadoittua ratakiskoon, sähköratapylvääseen, valaisinpylvääseen tai muuhun vastaavaan kohteeseen niihin osuessaan. Tästä johtuen jää todennäköisyys ajolangan hallitsemattomasta lentämisestä jännitteellisenä yli viiden metrin päähän raiteen keskiviivasta varsin pieneksi. On kuitenkin mahdollista, että maadoittunut ja jännitteettömäksi muuttunut ajolanka sinkoutuu yli viiden metrin päähän raiteen keskiviivasta, mutta tällöin rakennuksen maadoituksilla ei ole enää merkitystä.

Radan lähistöllä, mutta yli viiden metrin päässä raiteen keskiviivasta sijaitseva rakennus voi teoriassa joutua jännitteellisen ajolangan osuman kohteeksi esimerkiksi kaluston osuessa voimakkaasti sähköratapylvääseen. Näin tapahtuessa vahinkoja aiheutuu myös kaluston ja sen osien syöksymisestä, joten ajolangan jännitteen aiheuttama vahinko ei ole enää välttämättä suurin ihmiseen ja omaisuuteen kohdistuva riski. Siksi nykyisin käytössä olevaa maadoituksen viiden metrin rajaa raiteen keskiviivasta voidaan pitää tarkoituksenmukaisena jatkossakin muutamin seuraavaksi esitetyin poikkeuksin.

Tilannekohtaista harkintaa ja riskianalyysiajattelua tulee kuitenkin käyttää ja rajatapauksissa rakennus tulee aina päätyä ennemmin maadoittamaan kuin jättää maadoittamatta.



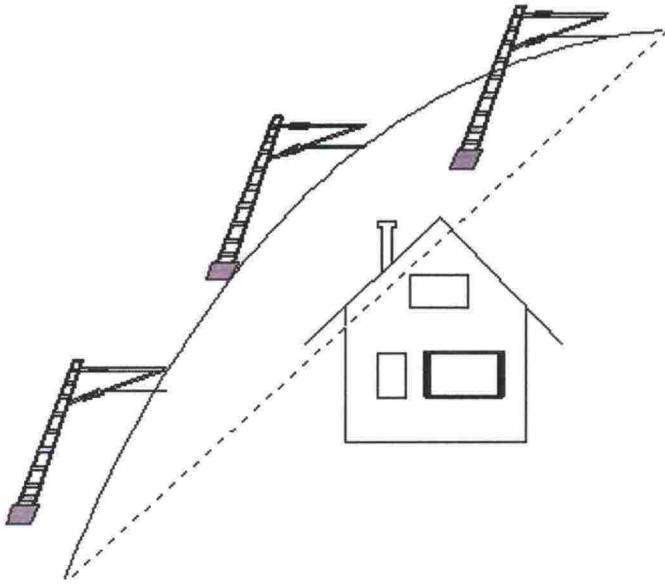
Kuva 37. Rakennuksia lähellä sähköistettyä rataa

8.4 Kaartuvan radan aiheuttama riski

Mikäli rakennus sijoittuu voimakkaasti kaartuvan radan sisäkaarteeseen, mutta on maadoittamista edellyttävän rajan ulkopuolella, voi rakennuksen maadoitusta olla tarpeen harkita, sillä kiinnityksistä irronnut ajolanka voi suoristuessaan oikaista kaarteeseen ja osua rakennukseen.

Kaartuvan radan aiheuttamalle maadoitustarpeelle on hyvin vaikea arvioida varsinaista etäisyyssääntöä, mutta karkean arvion voi saada piirtämällä kaarteeseen ensimmäisen ja viimeisen sähköratapylvään välille suora. Mikäli radan läheisyydessä oleva rakennus selkeästi osuu piirrettyyn suoraan tai jää suoran ja ratalinjan väliin, on perusteltua harkita jonkinlaisia maadoitustoimia rakennukseen siltä varalta, että langan kiinnitykset pottävät ja ketjureaktion seurauksena joko vastapaino tai kalusto repii ajolankaa suoraksi.

Kaarteissa ei ole syytä unohtaa paluujohtimien varmistettua kiinnitystä, vaikka näiden johtimien irtoilemisella ei ole yhtä tuhoisaa vaikutusta kuin ajo- ja vastajohdinten tapauksessa. /12./



Kuva 38. Rakennuksen maadoitusrajan määrittely kaartuvalla radalla

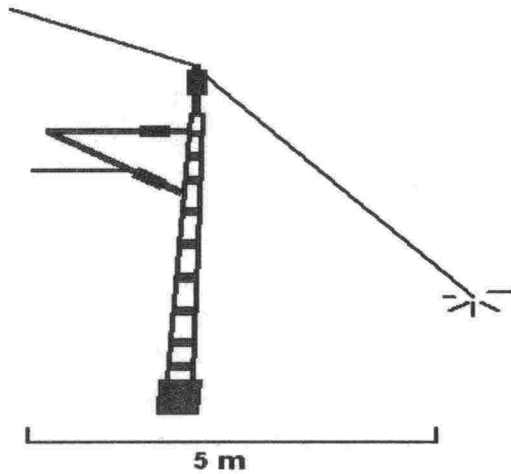
8.5 Vastajohtimen aiheuttama riski 2 x 25 kV -järjestelmässä

Mikäli vastajohdin kiinnitetään sähköratapylvään päässä vaakatasossa olevaan eristimeen, ei lisäriskiä pitäisi syntyä, koska vastajohtimen irtoaminen eristimestä aiheuttaa maadoittumisen sähköratapylvään välityksellä. Joissain tilanteissa vastajohdin joudutaan asentamaan pystyyn sähköratapylvään päälle. Tällöin on riski, että eristimestä irronnut johto voi sinkoutua jännitteisenä odottamattoman pitkälle, koska ilmassa ei välttämättä ole mitään maadoitettua kohdetta, johon johdin voisi osua.



Kuva 39. Pylvään päähän pystyyn sijoitettu vastajohtimen eristin

Pystyyn sijoitetun vastajohtimen eristimen tapauksessa tulee laatia paikallinen riskianalyysi ja pohtia, onko 5 m:n raja raiteen keskiviivasta riittävä, mikäli rakennus sijaitsee varsinaisen 5 m:n rajan ulkopuolella, mutta hyvin lähellä rajaa.

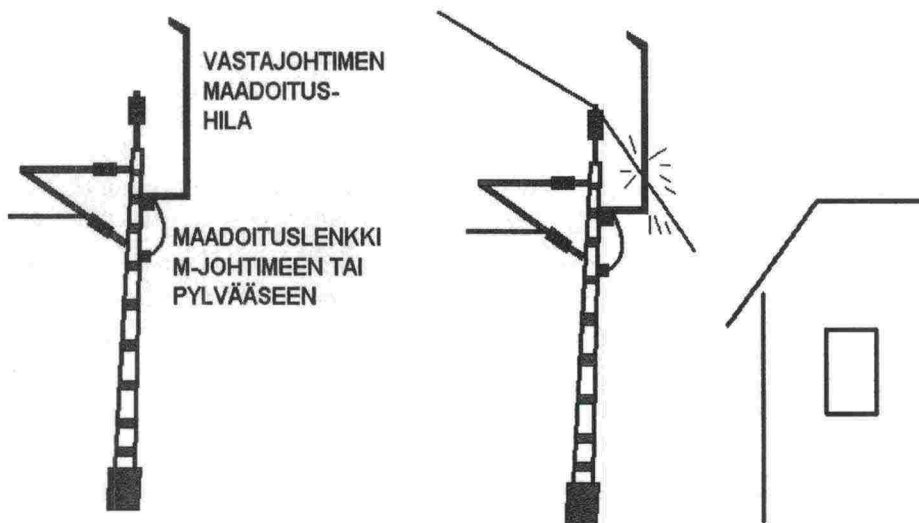


Kuva 40. Pystyeristimeen sijoitetun vastajohtimen sinkoutumistilanne

8.6 Maadoitushilan käyttö 2 x 25 kV -järjestelmässä

Mikäli vastajohtimen eristintä ei voi julkaisun B10 /6/ pienimpien sallittujen asennus-etäisyyksien vuoksi sijoittaa muuta kuin pystyasentoon sähköratapylvään päälle ja paikalla sijaitsee rakennus, joka on lähellä viiden metrin etäisyyttä kiskojen keskipisteestä mutta kuitenkin sen ulkona, voi erillisen maadoitushilan asentaminen olla tarkoituksenmukaista. Hilan käyttöä voidaan harkita myös, kun paikallinen riskianalyysi osoittaa, että vastajohtimen sinkoutuminen voi aiheuttaa vakavan henkilö- tai omaisuusvahingon riskin.

Maadoitushila voidaan asentaa sähköratapylvääseen siten, että se on hyvässä sähköisessä yhteydessä sähköradan maadoitusjärjestelmään ja pystyy maadoittamaan vaurion seurauksena irronneen vastajohtimen. Rakenteeltaan hilan tulee olla mekaanisesti niin vahva, että se kestää ehjänä vastajohtimen maasulun aiheuttaman termisen rasituksen.



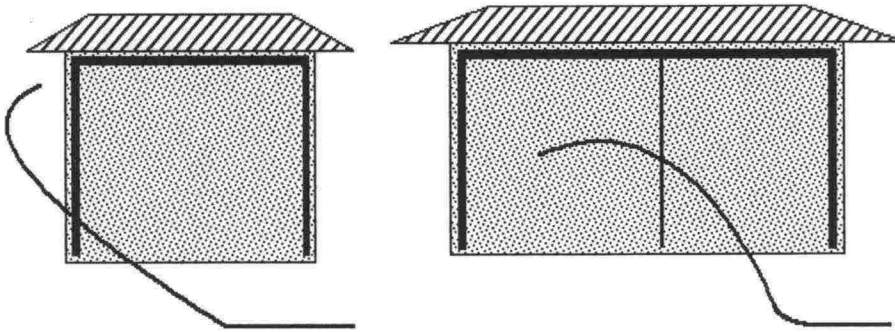
Kuva 41. Maadoitushilan käyttö vastajohtimen sinkoutumissuojana

8.7 Rakennuksen maadoituksen toteutus

Vikavirran aiheuttamien voimakkaiden termisten vaikutusten vuoksi seinille ja kattoon asennettavat maadoitusjohtimet tulee asentaa hieman erilleen palonaroista rakenteista.

Mikäli rakennuksessa on yhtenäinen peltikatto, muodostaa katto jo sinällään hyvin johtavan kokonaisuuden, jolloin erillisiä katonsuuntaisia maadoitusjohtimia ei tarvitse kiinnittää kattoon. Katto tulee kuitenkin ainakin kahdesta eri pisteestä yhdistää seinillä kulkeviin johtimiin, jotta vikavirran aiheuttama rasitus ei maadoituksen liitoskohdassa kävisi liian suureksi. Mikäli rakennuksen seinällä on useita maadoitusjohtimia, ne kaikki tulee yhdistää myös peltikattoon, sillä peltikaton elementit saattavat korroosion vaikutuksesta, erityisesti liitoskohdista, muuttua heikommin sähköä johtavaksi.

Pitkän rakennuksen seinälle voi olla tarpeen sijoittaa useampi kuin kaksi pystysuuntaista maadoitusjohdinta. Tärkeimmät maadoitusjohtimet sijaitsevat kuitenkin talon kulmissa, sillä sinkoutuva ajolanka todennäköisimmin taipuu kulmissa ja näin osuu maadoitusjohtimeen. Seinän keskiosissa ajolanka ei välttämättä kosketa maadoitusjohdinta.

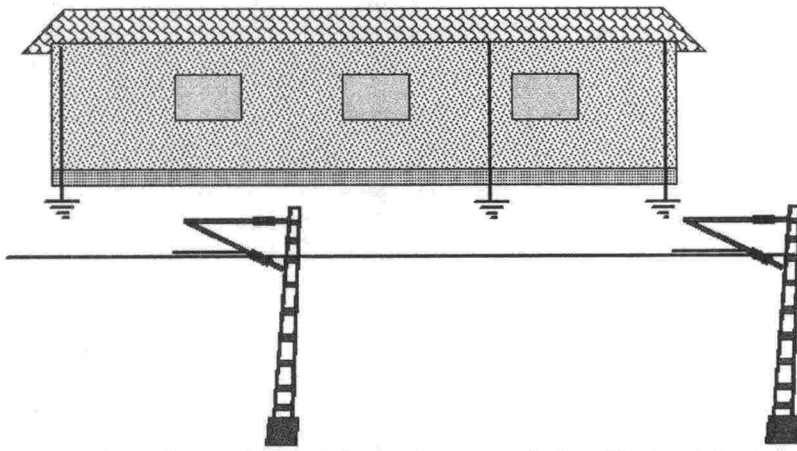


Kuva 42. Rakennusta päin sinkoutuvan langan käyttäytyminen

Kuvassa on esitetty rakennuksen kulmamaadoitusjohtimen ja seinän välimaadoitusjohtimen tarkoitus käytännössä. Kulmamaadoitusjohdin toimii jännitteisen langan sinkoutuessa ja taipuessa kulman ympäri, seinän välimaadoitusjohdin maadoittaa seinää vasten singonneen ajolangan.

8.8 Pitkän rakennuksen seinän välimaadoitukset

Pitkä rakennus voi tarvita useampia pystysuuntaisia maadoitusjohtimia. Ajolangan tai vastajohtimen käyttäytymistä on vaikea arvioida, mutta pääsääntöisesti rakennus voidaan välimaadoittaa kahden sähköratapylvään puolivälin kohdalta. Huomioon on otettava myös radan ja rakennuksen väliin sijoitetut valaisinpylväät ja muut paluukiskoon maadoitetut kohteet, joihin sinkoutuva lanka voi maadoittua osumatta ensin rakennuksen seinään.

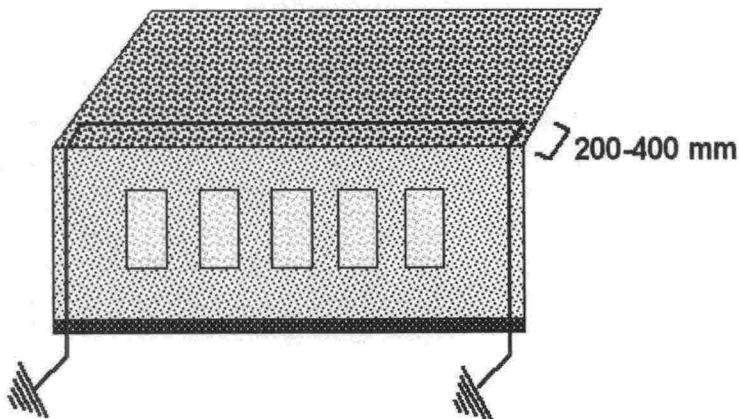


Kuva 43. Rakennuksen välimaadointus pylväsvälin keskikohdasta

8.9 Sähköä johtamattoman katon maadoitus

Mikäli rakennuksen katto ei ole yhtenäistä johtavaa materiaalia, on rakennuksen radanpuoleisen katon reuna-alueelle sijoitettava johdin, joka yhdistää seinää pitkin nousevat johtimet toisiinsa. Vaikka itse kattomateriaali olisikin sähköä johtavaa, on myös katon pintakäsittely otettava huomioon. Jos katossa on paksu maali- tai vastaava suojapinta, kattoa voidaan pitää riittävän hyvin johtavana, mikäli resistanssimittauksella saadaan alle 10 ohmin maadoitusresistanssiarvoja. /9./

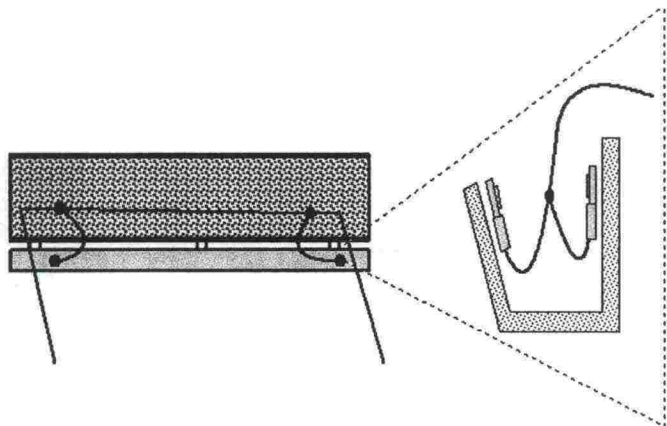
Pelkän sadevesiräystään yhdistäminen maadoituksiin muuten sähköä johtamattomalla katolla ei välttämättä riitä maadoitukseksi, jos räystäsrakenne on liian heikko vikavirtatieksi tai muu tekijä lisää räystään impedanssia. Räystäsrakenteen huono sähköjohtavuus edistää entisestään vikavirran aiheuttaman välikattorakenteiden tulipalon riskiä.



Kuva 44. Maadoitusjohdin sähköä johtamattomalla kattopinnalla

Katolla kulkeva maadoitusjohdin tulee sijoittaa lähelle katon radanpuoleista reunaa. Johtimen kiinnityksessä voidaan käyttää maisemallisesti sopivia ratkaisuja, kunhan maadoitusjohdin ei kulje missään vaiheessa syvennyksessä varsinaisen kattopinnan

alapuolella, koska tällöin on riski, ettei jännitteellinen ajojohdin saa vikatilanteessa kunnollista kontaktia maadoitusjohtimeen.



Kuva 45. Maadoitusjohtimen kiinnittäminen sadevesiräystääseen

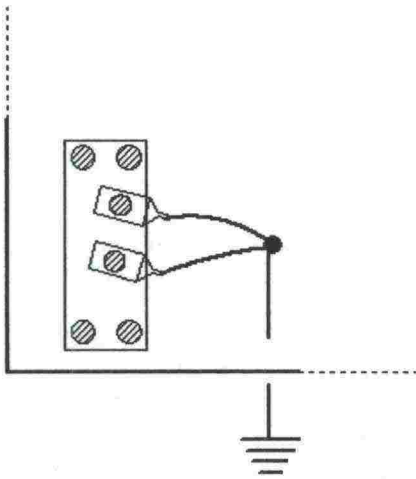
Räystäs on syytä maadoittaa varmistetusti yläpinnasta, jotta kosteuden aiheuttama korroosio ja lika eivät liiaksi heikennä liitoskohtaa. Pitkän seinän jokainen seinää pitkin nouseva maadoitusjohdin tulee yhdistää myös räystääseen, jotta katon lisäksi myös räystään maadoitusresistanssia saadaan alennettua.

8.10 Sähköä johtava kattopinta

Kattomateriaalin koostuessa yhtenäisestä johtavasta, sähköiset ominaisuutensa säilyttävästä aineesta katon suuntaista maadoitusjohdinta ei välttämättä tarvita, koska katto toimii johteena. On kuitenkin syytä tarkastella katon todellista impedanssia, jos on syytä epäillä, että katon pintakäsittelyn, kiinnitysten irtoamisen, korroosion tai muun syyn johdosta katto ei sovellu suurentuneen resistanssinsa vuoksi maadoitusjärjestelmän osaksi.

8.11 Liittimen kiinnittäminen laajaan johtavaan pintaan

Kiinnitettäessä maadoitusjohdinliitintä laajaan johtavaan pintaan kuten esimerkiksi peltikattoon on otettava huomioon vikavirran ”tiivistyminen” liittimen kohdalla. Vikavirran kuumentava vaikutus kohdistuu liittimen läheisyyteen ja metallipinta saattaa sulaa liittimen ympäriltä virran vaikutuksesta siten, että koko liitin irtoaa. Siksi liitos on syytä tehdä kahdella erillisellä liittimellä. Liitoskohtaa voidaan myös vahvistaa paksuhkolla, johtavan pinnan päälle tiukasti kiinnitetyllä aluslevyllä, jonka tulee olla kemiallisen syöpmisen estämiseksi samaa materiaalia kuin kattopinnan.



Kuva 46. Vikavirran termiset vaikutukset kestävä maadoitusliitos

Paluukiskosta tuleva maadoitusjohdin on liitetty kattopeltiin kahdella erillisellä liittimellä. Vikavirran siirtyessä laajasta pinnasta maadoitusjohtimeen vähennetään virran liittimeen kohdistamaa polttavaa vaikutusta liittimien alle sijoitetulla paksunnetulla levyllä.

9 YHTEENVETO

Rautateiden sähköturvallisuuden kannalta sähköratakohteiden maadoittaminen on erittäin tärkeää. Tärkeys korostuu myös tilapäisissä ja työn alla olevissa kohteissa.

Tässä työssä käsiteltiin sähköratamaadoitusten toteuttamista olemassa olevia ohjeita ja määräyksiä soveltaen laiturikohteiden, aitojen ja rakennusten osalta. Lisäksi valaistiin laajemmin maadoitusten merkitystä osana sähköratajärjestelmää sekä luotiin perusteita maadoituksiin sovelletun paikallisen riskianalyysin laadintaan.

Työssä tarkasteltiin sähköratamaadoitusten merkitystä ja kosketus- ja askeljännitteisiin liittyviä ongelmia sekä määräyksiä, jotka sitovat yhteen vikajännitteiden suuruuden ja keston. Todettiin, että kosketus- ja askeljännitteet on rajoitettava sallittuihin arvoihin ja kosketusjännitteellä voidaan tarkoittaa rautatieympäristössä myös samanaikaisesti kosketeltavien osien välistä jännitettä, vaikka varsinaista vikaa ei olisikaan olemassa.

Riskejä, joita aiheutuu sähköratajärjestelmän ja pienjännitejärjestelmän yhteisen maadoituksen kautta, tarkasteltiin käytännön tilanteiden kautta ja todettiin, että yhteisiin maadoituksiin tulee pyrkiä, koska tällöin eri maadoitusjärjestelmien välille ei synny haitallisia potentiaalieroja. Yhteiset maadoitukset tulee kuitenkin toteuttaa niin, ettei ulkoiseen sähköverkkoon aiheudu vaarallisia kosketusjännitteitä tai liiallisia termisiä rasituksia sähköratajärjestelmän puolella tapahtuvien vikojenkaan aikana.

Laiturikatoksia tarkasteltiin paikkoina, joissa suurten ihmismäärien toistuvan oleskelun vuoksi sähköturvallisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Esitettiin määräyksiä ja ohjeita soveltaen rakenteiden maadoitustapoja pääosin metallista, lasista ja muovista sekä puusta koostuvalle laiturikatokselle.

Suoja-aitoja käsiteltiin pitkinä sähköisesti yhtenäisinä kokonaisuuksina, joiden potentiaalien siirtokykyä on hallittava maadoituksin. Laadittiin maadoitusmalleja aitojen epäjatkuvuuskohtiin sekä tilanteisiin, joissa yhtenäinen aita kulkee pois rata-alueelta. Jaettiin aidat kahteen eri prioriteettiin, joille määriteltiin erilliset maadoitusmallit.

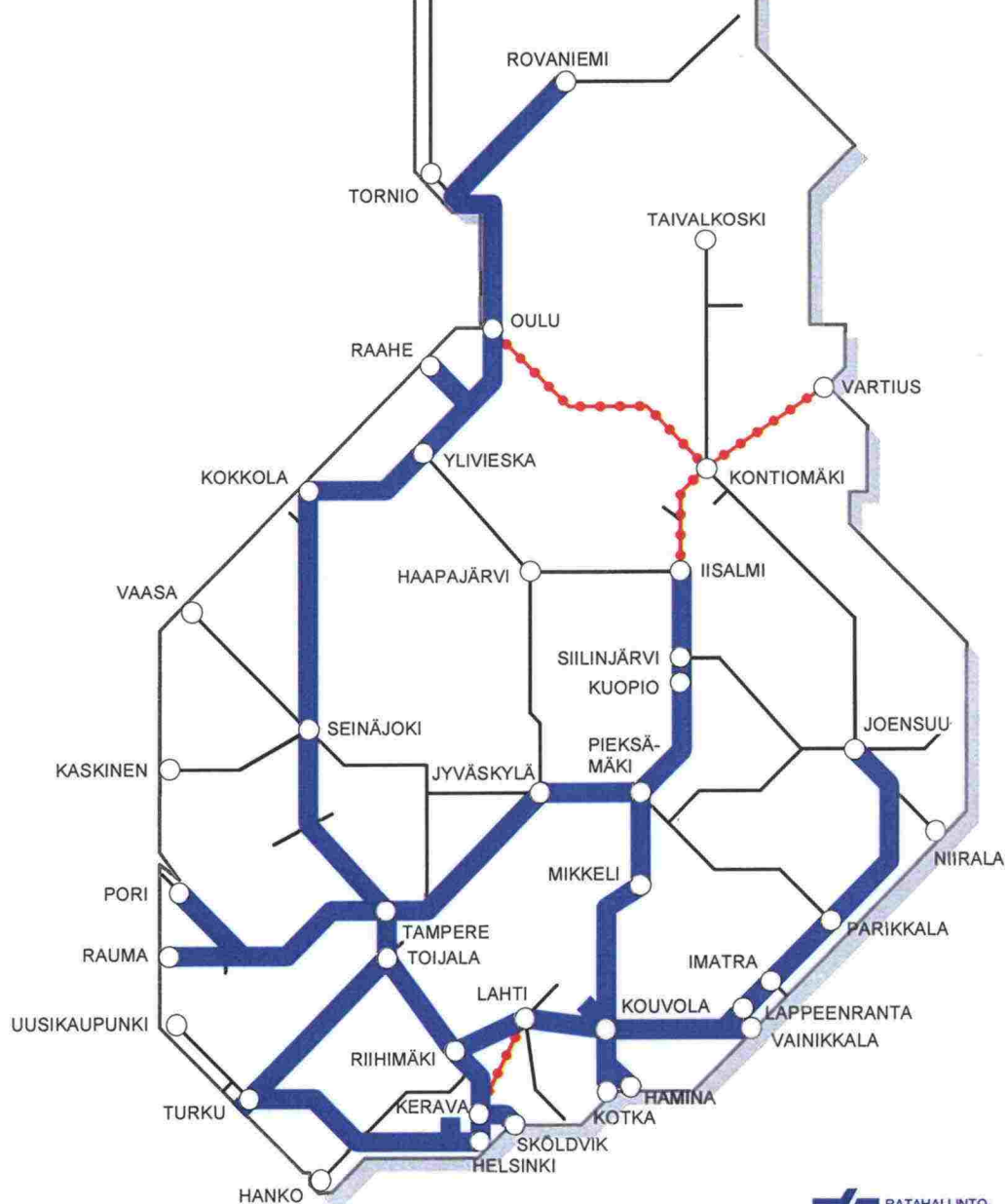
Selvitettiin sähköradan läheisyydessä sijaitsevien rakennusten maadoitustarvetta ja todettiin nykyisen viiden metrin etäisyyden kiskojen keskiviivasta olevan riittävä maadoitusraja lukuun ottamatta tilannetta, jossa rata kaartuu tai vastajohtimen eristin on sijoitettu pystyasentoon sähköratapylvään päälle. Esitettiin maadoitushilan käyttämistä vastajohtimen sinkoutumisen estämiseksi poikkeustilanteissa. Laadittiin käytännön malli rakennuksen seinien ja kattopintojen maadoittamiselle tapauksissa, joissa rakennuksen maadoittaminen on arvioitu tarpeelliseksi.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Sähköistuksen vaiheet – Rautateiden sähköistys Suomessa. Ratahallintokeskuksen julkaisema esittelymoniste, 1998.
- /2/ Sjöblom Juha, ylitarkastaja. Ratahallintokeskus. Haastattelu. Helsinki 14.7.2004
- /3/ Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO) osa 5 Sähköistetty rata. Ratahallintokeskuksen julkaisu, 2004
- /4/ Sähköratamääräykset. Ratahallintokeskuksen julkaisu, 2001
- /5/ Sähköratajärjestelmän 2 x 25 kV kuvaus -käsikirja. Sähköradat Oy, 2001
- /6/ Rekola Pekka, liikennetarkastaja. Ratahallintokeskus. Haastattelu. Helsinki, 29.7.2004
- /7/ Rautatieliikenteen onnettomuusriskit ja turvaamistoimenpiteet. Ratahallintokeskuksen julkaisu A13/2001, 2001
- /8/ Suurjännitesähköasennukset SFS 6001. Suomen standardisoimisliitto SFS, Suomen Sähköteknillinen Standardisoimisyhdistys SESKO. Standardi vahvistettu 23.4.2001.
- /9/ Tiippana Erkki. VR-Rata Oy, Rautatiesuunnittelu. Haastattelu. Helsinki, 29.7.2004
- /10/ Sähköturvallisuusmääräysten soveltaminen sähköradan kiinteisiin laitteisiin. Ratahallintokeskuksen julkaisu B10, 2002
- /11/ SSR–Sähköistuksen kiinteiden laitteiden suunnittelu ja rakentaminen. Ratahallintokeskuksen, alun perin valtionrautateiden, julkaisu. Ohjekokoelma vahvistettu käytettäväksi 1978.
- /12/ Manninen Samuli (eläk.). VR-Rata Oy, Rautatiesuunnittelu. Haastattelu. Helsinki, 14.7.2004.

Ratojen sähköistys

(Tilanne 1.12.2004 alkaen)



Valokuvia muuntoasemarakenteista



Kuva 1. Sähköenergian syöttö ajolankaan erotusjakson kohdalta



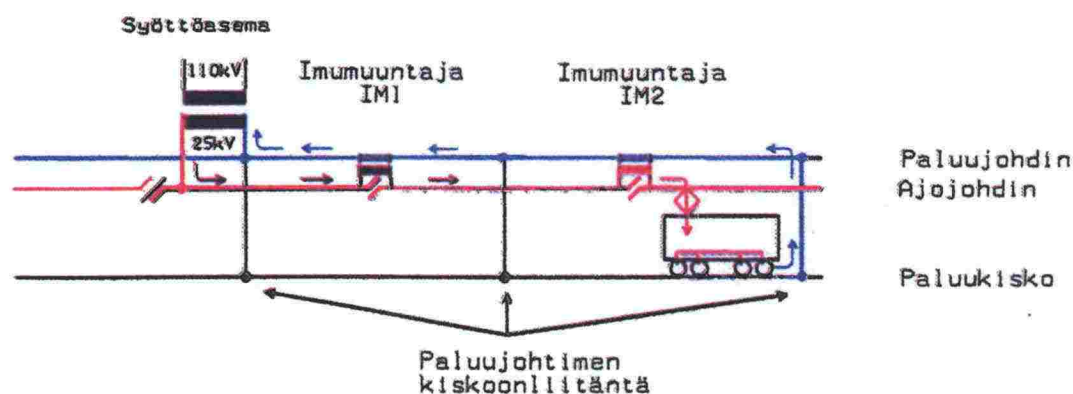
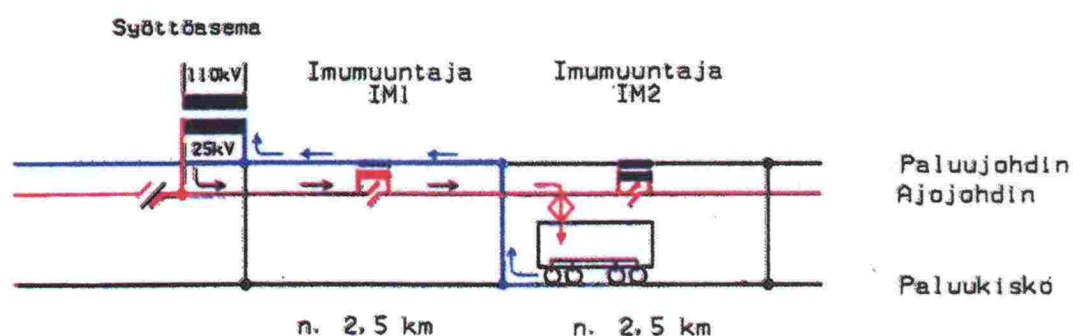
Kuva 2. Ensimmäisen välin syöttömuuntaja on kytketty vaiheiden L1 ja L2 väliin



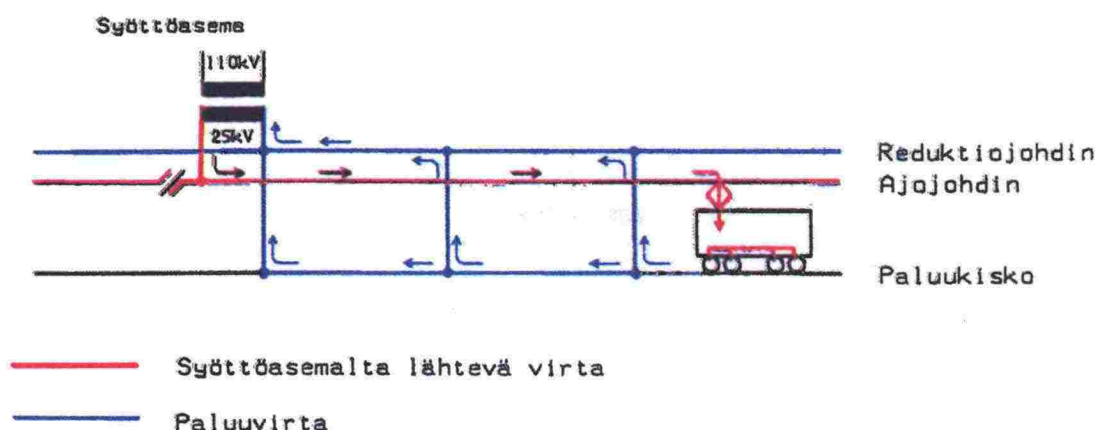
Kuva 3. Toisen välin syöttömuuntaja on kytketty vaiheiden L2 ja L3 väliin

VIRRRAN KULKUTIE SYÖTTÖASEMAN JA VETOKAULUSTON VÄLILLÄ JÄRJESTELMÄSSÄ 25 KV

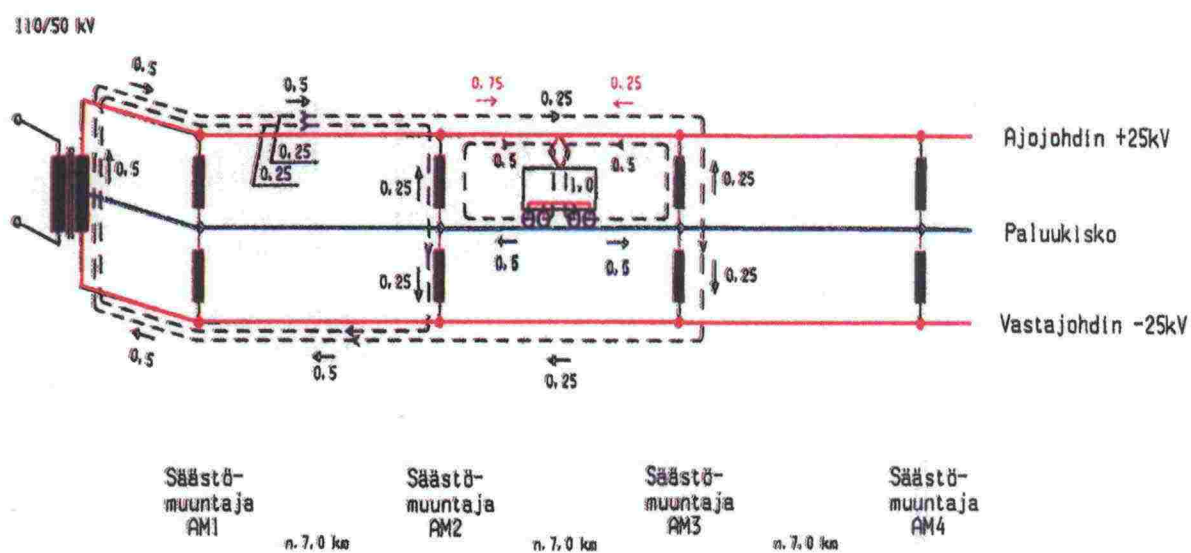
Imumuuntajalla
ja paluujohtimella varustettu ratajohto



Reduktiojohtimella varustettu ratajohto



VIRRRAN KULKUTIE
SYÖTTÖASEMAN JA VETOKAULUSTON VALILLA
JÄRJESTELMASSA 2 X 25 KV



RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 1/2001 Rataverkko 2020 -suunnitelma
- 2/2001 XPS-routaeristelevyt ratarakenteessa, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- 3/2001 Raidetutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
- 4/2001 Radan kunnossapitokustannusten kirjallisuustutkimus
- 5/2001 Loppuraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen teknisistä ominaisuuksista
- 6/2001 Final report, 250 kN and 300 kN axle loads
- 7/2001 Rautateiden maanvaraiset pylväasperustukset
- 8/2001 Ratarumpututkimus. Instrumentointi ja mittaukset
- 9/2001 Verkkoaikataulu junaliikenteen ja rautatieinfrastruktuurin kehittämisestä
- 10/2001 Työnaikaisten ratakaivantojen tukeminen
- 11/2001 Pääkaupunkiseudun rautateiden meluntorjuntaohjelma vuosille 2001 – 2020
- 12/2001 Rautatietasoristeysten turvaaminen
- 13/2001 Rautatieliikenteen riskit ja turvaamistoimenpiteet, osat 1 ja 2
- 14/2001 Rautatieliikenteen valtakunnallinen meluselvitys
- 1/2002 Ratarakenteen routasuojaus
- 3/2002 Rautatietasoristeysten turvaamis- ja poistostrategia 2020
- 4/2002 Rautateiden maanvaraiset pylväasperustukset, lisensiaatintutkimus
- 5/2002 Raiteentarkastus ja siinä ilmenevien virheiden analysointi välillä Kirkkonummi–Turku
- 6/2002 Kerava–Lahti-oikoradan sosiaalisten vaikutusten arviointi
- 7/2002 Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2025
- 8/2002 Puomillisten tasoristeysten turvallisuus
- 9/2002 Vartioimattomien tasoristeysten turvallisuus
- 10/2002 Ratarumpututkimus, mallinnus
- 1/2003 Katsaus Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämistoimintaan
- 2/2003 Instrumentation and Modelling of Railway Culverts
- 3/2003 Rautatieliikenteen onnettomuuksien ja vaaratilanteiden raportoinnin kehittäminen
- 4/2003 Henkilöliikenneasemien esteettömyyskartoituksen tuloksia
- 1/2004 Tavaraliikenteen ratapihavisio ja -strategia 2025
- 2/2004 Rautateiden kaukoliikenteen asemien palvelutaso ja kehittämistarpeet
- 3/2004 Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset
- 4/2004 Murskatun kalliokiviaineksen hienoneminen ja routivuus radan rakennekerroksissa
- 5/2004 Radan kulumisen rajakustannukset vuosina 1997 – 2002
- 6/2004 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997 – 2002
- 7/2004 Ratakapasiteetin jakamisen vaatimukset ja liikenteen suunnittelun tila
- 8/2004 Stabiiliteetiltaan kriittiset ratapenkereet, esitutkimus
- 9/2004 Ratapenkereitten leveys ja luiskakaltevuus, esitutkimus
- 10/2004 Lähtökohtia ratapihojen kapasiteetin mittaamiseen



Julkaisija:
Ratahallintokeskus
Keskuskatu 8, PL 185, 00101 Helsinki
puh. (09) 5840 5111, fax (09) 5840 5100
www.rhk.fi

ISBN 952-445-117-4
ISSN 1455-2604